



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE GERAÇÃO
PARA ELETRIFICAÇÃO RURAL DESCENTRALIZADA
EM CORRENTINA/BA**

**Autor: Tales Guimarães Ferreira
Orientador: Rudi Henri van Els**

**Brasília, DF
2016**



TALES GUIMARÃES FERREIRA

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE GERAÇÃO PARA ELETRIFICAÇÃO
RURAL DESCENTRALIZADA EM CORRENTINA/BA**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Profº Dr. Rudi Henri van Els

**Brasília, DF
2016**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

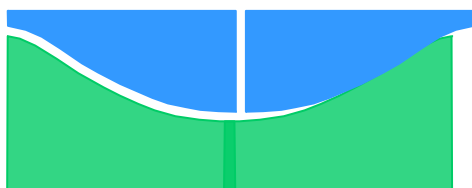
Guimarães Ferreira, Tales.

Dimensionamento de Sistema de Geração para
Eletrificação Rural Descentralizada em Correntina/BA /
Tales Guimarães Ferreira. Brasília: UnB, 2016. 88 p.: il.;
29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia
Elétrica, Brasília, 2016. Orientação: Profº Dr. Rudi Henri Van
Els.

1. Eletrificação Rural Descentralizada. 2. Processo de
Desenvolvimento de Produto. 3. Engenharia Elétrica I. Henri
van Els, Rudi. II. Desenvolvimento de Sistema de Geração para
Eletrificação Rural Descentralizada em Correntina/BA.

CDU Classificação



DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE GERAÇÃO PARA ELETRIFICAÇÃO RURAL DESCENTRALIZADA EM CORRENTINA/BA

Tales Guimarães Ferreira

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, em (data da aprovação 12/12/2016) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr.: Rudi Henri van Els, UnB/ FGA
Orientador

Prof.: Rafael Amaral Shayani, UnB/ ENE
Membro Convidado

Profa.: Andrea Cristina Santos, UnB/ EPR
Membro Convidado

Brasília, DF
2016

AGRADECIMENTOS

A toda minha família pelo apoio incondicional que sempre me dão.

À minha namorada Francineide por estar sempre ao meu lado.

Ao Professor Rudi, pela paciência e orientações.

À Dona Léia e Dona Helena, por me receberem de portas abertas em suas casas.

Aos moradores do Assentamento Silvio Rodrigues, em Alto Paraíso de Goiás, especialmente Gilberto, Santana e Dona Ana, aos habitantes da zona rural de Colinas do Sul e aos ciganos da Rota do Cavalo pela inspiração para esse trabalho.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo.” Mahatma Gandhi.

RESUMO

Hoje em dia, muitas comunidades rurais vivem sem acesso a energia elétrica, pois as redes de distribuição de energia elétrica não chegam até suas propriedades, geralmente pelo alto preço de expansão dessas redes, o que leva a população do meio rural a buscar alternativas muitas vezes caras e de baixa qualidade para suprir suas necessidades. Nesse contexto, a Eletrificação Rural Descentralizada (ERD) pode ser uma alternativa para satisfazer essas necessidades que normalmente exigem potências muito baixas, para as quais a expansão da rede elétrica não é justificada, devido aos altos custos. Na literatura, observa-se muitos projetos de ERD orientados a uma tecnologia, geralmente a fotovoltaica. Porém, esses projetos não levam em conta as particularidades de cada região nem as diferentes demandas dos usuários. Pensando nisso, o presente Trabalho de Conclusão de Curso propõe uma análise minuciosa das necessidades de uma propriedade rural, especificamente do sítio Veredão, localizado no município de Correntina/BA, com o objetivo de dimensionar um sistema de geração de energia descentralizada que satisfaça as demandas dos habitantes por energia elétrica da melhor forma possível, observando fatores tecnológicos, ambientais, sociais e econômicos. Para isso, são usadas partes da metodologia de desenvolvimento de produtos, especificamente o Projeto Informacional, para transformar as necessidades dos clientes do sistema proposto em especificações técnicas e para analisar o desempenho de alternativas tecnológicas existentes em atender a essas necessidades. As tecnologias com melhor desempenho são, então, analisadas com relação aos seus custos para basear a escolha daquelas que formarão o sistema, onde são analisadas com mais detalhes as tecnologias de geração de energia elétrica. Ao final, o sistema proposto é formado por uma turbina hidrocínética de 1,8 kW e um painel fotovoltaico de 275 W, que alimenta quatro baterias de 105 Ah, além de um aquecedor solar para água do chuveiro. É sugerido também o desenvolvimento de um forno solar e uma chocadeira solar.

Palavras-chave: Eletrificação Rural Descentralizada. Processo de Desenvolvimento de Produtos. Sistema Fotovoltaico. Turbina Hidrocínética.

ABSTRACT

Nowadays, many rural communities live without access to electricity, since electricity distribution networks do not reach their properties, generally due to the high price of expansion of these networks, which causes the rural population to seek expensive and low quality alternatives to meet their needs. In this context, Decentralized Rural Electrification (ERD) may be an alternative to meet those needs that usually require very low power, for which the grid expansion is not justified due to the high costs. In the literature, many ERD projects are focused on one technology, usually photovoltaic. However, these projects do not take into account the particularities of each region or the different demands of users. With this in mind, this Graduation Thesis proposes a detailed analysis of the needs of a rural property, specifically the Veredão site, located in the municipality of Correntina/BA, with the objective of designing a decentralized power generation system that satisfies the energy demands of the inhabitants in the best possible way, observing technological, environmental, social and economic factors. To this end, parts of the product development methodology, specifically the Informational Project, are used to transform the needs of the customers of the proposed system into technical specifications and to analyze the performance of existing technological alternatives to meet those needs. The best performing technologies are then analyzed with respect to their costs to base the choice of those that will form the system, where the technologies of electric power generation are analyzed in more detail. At the end, the proposed system consists of a hydrokinetic turbine of 1.8 kW and a photovoltaic panel of 275 W, which feeds four batteries of 105 Ah, in addition to a solar water heater for the shower. It is also suggested the development of a solar furnace and a solar egg incubator.

Keywords: Decentralized Rural Electrification, Product Development Process. Photovoltaic System. Hydrokinetic Turbine.

Lista de Figuras

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Entrevista com moradores da zona rural de Colinas do Sul/GO. (Foto: Francineide Marinho Santos).. | 15 |
| Figura 2: Entrevista com moradores da zona rural de Colinas do Sul/GO. (Foto: Francineide Marinho Santos).. | 15 |
| Figura 3: Localização de Correntina e do sítio Veredão (Fonte: GOOGLE, 2016)..... | 16 |
| Figura 4: Imagem destacando o sítio Veredão (Fonte: GOOGLE, 2015)..... | 17 |
| Figura 5: Radiação solar global (Fonte: CEPEL; ELETROBRÁS, 2000)..... | 18 |
| Figura 6: Insolação diária (Fonte: CEPEL; ELETROBRÁS, 2000)..... | 19 |
| Figura 7: Velocidade média anual do vento na Bahia (Fonte: COELBA, 2001)..... | 19 |
| Figura 8: Legenda para o mapa da Figura 7 (Fonte: COELBA, 2001)..... | 20 |
| Figura 9: Imagem do Rio das Éguas, comunidade de Arrojelândia, Correntina/BA (Foto: Francineide Marinho Santos)..... | 20 |
| Figura 10: Visão geral do processo de desenvolvimento de produtos (Fonte: ROZENFELD et al., 2006)..... | 22 |
| Figura 11: Ciclo de vida genérico (Fonte: ROZENFELD et al., 2006)..... | 24 |
| Figura 12: Exemplo de Diagrama de Mudge (Fonte: SANTOS, 2016)..... | 25 |
| Figura 13: Exemplo de Diagrama de Pareto (Fonte: SANTOS, 2016)..... | 26 |
| Figura 14: Diagrama de Kano (Fonte: ROZENFELD et al., 2006)..... | 27 |
| Figura 15: Estrutura do QFD (Fonte: ROZENFELD et al., 2006)..... | 28 |
| Figura 16: Ciclo de vida do sistema. (Fonte: o próprio autor)..... | 30 |
| Figura 17: Diagrama de Mudge do sistema a ser dimensionado (Fonte: o próprio autor)..... | 37 |
| Figura 18: Diagrama de Pareto do sistema a ser dimensionado (Fonte: o próprio autor)..... | 38 |
| Figura 19: Diagrama de Kano do sistema a ser dimensionado (Fonte: o próprio autor)..... | 41 |
| Figura 20: QFD do sistema a ser dimensionado (Fonte: o próprio autor)..... | 42 |
| Figura 21: Planta baixa da casa de Leia Van Den Beusch (Fonte: o próprio autor)..... | 45 |
| Figura 22: Distância do sítio à rede elétrica (Fonte: GOOGLE, 2015)..... | 49 |
| Figura 23: Roda d'água acoplada a bomba de pistão (Fonte: GRAH, 2013)..... | 52 |
| Figura 24: Bomba espiral em laboratório (Fonte: NAEGEL, 1991)..... | 53 |
| Figura 25: Irrigação por gravidade utilizando balde (Fonte: SMEAL, 2007)..... | 54 |
| Figura 26: Aquecedor solar (Fonte: SIQUEIRA, 2009)..... | 55 |
| Figura 27: Dois tipos de ASBC: com garrafas PET à esquerda e com forro PVC à direita (Fonte: THOMAZ, 2014)..... | 55 |
| Figura 28: Chocadeira solar (Fonte: AHIABA; NWAKONOB; OBETTA, 2015)..... | 56 |
| Figura 29: Forno solar (Fonte: SOUZA et al., 2010)..... | 57 |
| Figura 30: Turbina hidrocínética (Fonte: IGUAÇU ENERGIA, 2016)..... | 58 |
| Figura 31: Turbina Hidrocínética em funcionamento (Fonte: PANORAMIO, 2016)..... | 59 |
| Figura 32: Pannel fotovoltaico em telhado (Fonte: CRESESB, 2016)..... | 59 |
| Figura 33: Aerogerador (Fonte: ISTABREEZE DO BRASIL, 2016)..... | 60 |
| Figura 34: Irradiação (Fonte: CRESESB, 2016)..... | 66 |
| Figura 35: Irradiação no plano inclinado (Fonte: CRESESB, 2016)..... | 66 |
| Figura 36: Especificações do módulo JS 150 (Fonte: YINGLI SOLAR, 2016)..... | 67 |
| Figura 37: Perdas na tubulação (Fonte: CEPEL-CRESESB, 2014)..... | 70 |
| Figura 38: Ciclo de vida da bateria estacionária Freedom (Fonte: NEOSOLAR, 2016)..... | 71 |
| Figura 39: Especificações técnicas do módulo KD 140 (Fonte: KYOCERA SOLAR DO BRASIL, 2012)..... | 75 |
| Figura 40: Especificações técnicas dos painéis KB 255 e KB 260 (Fonte: KYOCERA SOLAR DO BRASIL, 2012)..... | 75 |
| Figura 41: Especificações técnicas do pannel YL 275 (Fonte: YINGLI SOLAR, 2016)..... | 76 |
| Figura 42: Imagem ilustrativa do sistema fotovoltaico (Fonte: o próprio autor)..... | 77 |

Lista de Tabelas

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Dados secundários transformados em necessidades dos clientes. (Fonte: o próprio autor)..... | 32 |
| Tabela 2: Transformação do desejo de equipamento em serviço de energia. (Fonte: o próprio autor)..... | 35 |
| Tabela 3: Necessidades dos clientes de cada fase do ciclo de vida do sistema (Fonte: o próprio autor)..... | 36 |
| Tabela 4: Nova numeração dos requisitos de cliente (Fonte: o próprio autor)..... | 39 |
| Tabela 5: Requisitos de cliente transformados em requisitos de sistema (Fonte: o próprio autor)..... | 40 |
| Tabela 6: Sub-sistemas e alternativas tecnológicas (Fonte: o próprio autor)..... | 43 |
| Tabela 7: Área dos cômodos, lux recomendados pela NBR 5413, lumens resultantes e potências e quantidade de lâmpadas necessárias (Fonte: o próprio autor)..... | 46 |
| Tabela 8: Consumo se todos equipamentos fossem ligados em energia elétrica (Fonte: o próprio autor)..... | 47 |
| Tabela 9: Especificações meta e saídas indesejadas do sistema a ser dimensionado (Fonte: o próprio autor)..... | 50 |
| Tabela 10: Potência e preços da turbina hidrocínética (Fonte: o próprio autor)..... | 63 |
| Tabela 11: Potencial de geração eólica (Fonte: o próprio autor)..... | 65 |
| Tabela 12: Possibilidades de sistemas fotovoltaicos, considerando sistema em 12V (Fonte: o próprio autor)..... | 68 |
| Tabela 13: Possibilidades de sistemas fotovoltaicos, considerando sistema em 24V (Fonte: o próprio autor)..... | 69 |
| Tabela 14: Possibilidades de sistemas fotovoltaicos, considerando sistema em 12V (Fonte: o próprio autor)..... | 72 |
| Tabela 15: Comparação de diferentes modelos de painéis fotovoltaico (Fonte: o próprio autor)..... | 74 |
| Tabela 16: Comparação baterias 105 e 150 Ah (Fonte: o próprio autor)..... | 76 |
| Tabela 17: Custos do sistema (Fonte: o próprio autor)..... | 78 |

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| RESUMO..... | 7 |
| ABSTRACT..... | 8 |
| Lista de Figuras..... | 9 |
| Lista de Tabelas..... | 10 |
| SUMÁRIO..... | 11 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA..... | 11 |
| 1.2 HISTÓRICO E CARACTERIZAÇÃO DO SÍTIO VEREDÃO (CORRENTINA/BA)..... | 16 |
| 1.3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS..... | 20 |
| 1.4 OBJETIVO..... | 22 |
| 2 PROJETO INFORMACIONAL..... | 23 |
| 2.1 CLIENTES E CICLO DE VIDA..... | 23 |
| 2.2 IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS DE CLIENTES..... | 24 |
| 2.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DE SISTEMA..... | 24 |
| 2.4 DIAGRAMA DE KANO..... | 26 |
| 2.5 QFD..... | 27 |
| 3 PROJETO INFORMACIONAL DO SISTEMA..... | 29 |
| 3.1 CICLO DE VIDA DO SISTEMA E CLIENTES..... | 29 |
| 3.2 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES..... | 30 |
| 3.2.1 Levantamento de dados secundários..... | 30 |
| 3.2.2 Entrevistas e observações de campo..... | 33 |
| 3.2.3 Necessidades e requisitos dos clientes..... | 35 |
| 3.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO SISTEMA..... | 37 |
| 3.4 DIAGRAMA DE KANO..... | 41 |
| 3.5 QFD..... | 41 |
| 3.6 ESPECIFICAÇÕES META..... | 44 |
| 4 TECNOLOGIAS..... | 51 |
| 4.1 NÃO ELÉTRICAS..... | 51 |
| 4.1.1 Bombeamento por Roda d'Água..... | 51 |
| 4.1.2 Irrigação por Gravidade..... | 53 |
| 4.1.3 Chuveiro Solar..... | 54 |
| 4.1.4 Chocadeira Solar..... | 55 |
| 4.1.5 Forno Solar..... | 56 |
| 4.2 ELÉTRICAS..... | 57 |
| 4.2.1 Turbina Hidrocinética..... | 57 |
| 4.2.2 Energia Fotovoltaica..... | 59 |
| 4.2.3 Energia Eólica..... | 60 |
| 5 ANÁLISE E ESCOLHA DAS TECNOLOGIAS A SEREM USADAS..... | 61 |
| 5.1 ANÁLISES..... | 61 |
| 5.1.1 Bombeamento por roda d'água..... | 61 |
| 5.1.2 Forno solar..... | 62 |
| 5.1.3 Chocadeira Solar..... | 62 |
| 5.1.4 Chuveiro Solar..... | 62 |
| 5.1.5 Turbina Hidrocinética (CA)..... | 62 |
| 5.1.6 Aerogerador..... | 63 |
| 5.1.7 Energia solar fotovoltaica..... | 65 |
| 5.1.8 Banco de Baterias..... | 71 |
| 5.2 ESCOLHA..... | 72 |
| 6 ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA DE GERAÇÃO ELÉTRICA..... | 74 |
| 6.1 DETALHAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO..... | 74 |
| 6.1.1 Painéis Fotovoltaicos e Banco de Baterias..... | 74 |
| 6.1.2 Controlador de Carga..... | 77 |

| | |
|----------------------------------------|-----------|
| 6.1.3 Dispositivos de Proteção..... | 77 |
| 6.2 CUSTOS..... | 78 |
| 6.3 OUTRAS CONSIDERAÇÕES..... | 78 |
| 7 CONCLUSÃO..... | 80 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 82 |

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho de conclusão de curso foi inspirado na ideia de pensar o fornecimento de energia elétrica de uma forma diferente da usual. Geralmente, os projetos focam somente em análises de viabilidade técnica e econômica, porém, é necessário também pensar nos impactos sociais e ambientais causados pela geração e uso das diversas formas de energia, uma atividade inerente à nossa sociedade.

O trabalho está dividido da seguinte forma: primeiramente será detalhado o problema a ser solucionado, relatando o histórico do sítio Veredão e o objetivo do trabalho. Depois, será feita uma revisão bibliográfica a cerca da metodologia que será utilizada ao longo do trabalho e será relatado o processo de aplicação da metodologia. Em seguida, serão definidas as tecnologias de geração mais adequadas para o local de acordo com critérios que serão definidos ao longo do trabalho, dando um enfoque maior no sistema de geração de eletricidade. Por fim, as conclusões do trabalho serão explicitadas.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Sabe-se que a população rural, assim como qualquer outra, possui demandas básicas de uso de energia, entre elas: acesso à água, produção e conservação de alimentos, iluminação, etc. Além disso, a difusão da modernidade no meio rural tem gerado novos padrões de consumo, criando a necessidade do uso de rádios e televisores para lazer, por exemplo, e também necessidades de maior conforto (ventiladores, liquidificadores, máquinas de costura, aquecedores, etc.). Porém, muitas comunidades rurais sofrem com a falta de energia, pois as redes de distribuição de energia elétrica não chegam até suas propriedades, geralmente pelo alto preço de expansão das mesmas, o que leva as distribuidoras de energia elétrica a perderem interesse em investir na ampliação dessas redes, uma vez que as análises se limitam a fatores financeiros. Essa situação leva a população do meio rural a buscar alternativas muitas vezes caras e de baixa qualidade para suprir suas demandas, contribuindo para o enfraquecimento da base socioeconômica das famílias rurais, já que a falta de energia acentua as desigualdades sociais (DE GOUVELLO; MAIGNE, 2003 e PEREIRA, 2011).

Segundo dados do Atlas do Desenvolvimento Humano, no Brasil, cerca de 2,7 milhões de pessoas (1,42% da população) residiam em domicílios sem energia elétrica em 2010. Para o estado da Bahia e o município de Correntina, esses números eram 497 mil (3,55%) e 1.587 (5,08%) de pessoas, respectivamente (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2016). Apesar do grande número de ligações feitas pelo Programa Luz Para Todos do Governo Federal nos últimos dez anos (3,2 milhões de ligações), beneficiando mais de 15 milhões de pessoas, sendo 7,5 milhões somente no Nordeste, os esforços não foram suficientes para garantir o acesso de toda a população a energia elétrica (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015).

Nesse contexto, a eletrificação rural descentralizada (ERD) tem potencial para resolver o problema de falta de energia que é causado, entre outros fatores, pela incapacidade do mercado de chegar por si mesmo a soluções satisfatórias para essas pessoas. Apesar da versatilidade das redes convencionais de energia elétrica, a geração descentralizada pode antecipar a chegada da qualidade de vida que vem através do acesso à energia elétrica de qualidade. Normalmente, o grau de satisfação de usuários de sistemas isolados é muito bom, permitindo aos beneficiários realizar tarefas antes praticamente impossíveis, como ler e costurar à noite. Além da possibilidade de prolongar os encontros familiares ao redor da televisão ou do rádio (DE GOUVELLO; MAIGNE, 2003).

Ademais, existe uma série de usos produtivos que exigem potência muito baixa, para os quais os menores motores de combustão interna são, em geral, superdimensionados e muito caros, e para os quais a expansão da rede elétrica não é justificada devido aos altos custos (DE GOUVELLO; MAIGNE, 2003). A ERD oferece um retorno tecnológico flexível para se ajustar a essa necessidade de potências baixas, além de ser um meio eficaz para conquistar o bem-estar e desenvolvimento econômico e social da população rural. A eletrificação pode trazer praticidade ao trabalho do campo e conforto dentro de casa através do acesso a eletrodomésticos, meios de comunicação e lazer e, conseqüentemente, possibilidade de aumento da produção material e intelectual, aproximando a população rural a confortos antes restritos à zona urbana (SCHWADE; ZDANOWICZ, 2013 e SEIFER; TRIGOSO, 2012).

Por outro lado, a correlação entre crescimento econômico e eletrificação rural não é direta. Sabe-se que a eletrificação beneficia a economia e incentiva a entrada de recursos, mas o crescimento econômico acontece quando há conjunção de outros fatores, como: infraestrutura de produção, comercialização e transporte, etc. (FERREIRA; BRAGA JUNIOR, 2003). Ou seja, somente o fornecimento de eletricidade não é suficiente para melhorar a qualidade de vida da população, é preciso também fornecer meios de subsistência, saúde, educação e assistência social (BARBOSA, 2003).

Quando se fala em eletrificação rural descentralizada, existem quatro soluções principais:

- Energia eólica, efetiva para muitos níveis de potência, depende da regularidade de ventos;
- Energia hidrelétrica, limitada ao fluxo hídrico;
- Combustíveis fósseis, confiáveis e flexíveis nos níveis de potência, mas prejudicados pelos altos custos operacionais representados pelo preço do combustível;
- Energia fotovoltaica, que, embora desfrute de fonte abundante, é dificultada pelo alto custo de investimento e pela necessidade de baterias para armazenamento;
- Biomassa, dependente do acesso à matéria-prima.

Na literatura, observa-se uma grande proporção de projetos orientados a uma tecnologia específica, normalmente a fotovoltaica. Porém, esse enfoque “orientado pela tecnologia”, normalmente não conduz a um compromisso entre demanda e satisfação do usuário. Ao invés disso, uma combinação dessas tecnologias disponíveis é, em nível técnico, a solução que mais satisfatoriamente atenderá o maior número de clientes (DE GOUVELLO; MAIGNE, 2003). Por isso, é necessário pensar na ERD sem focar na fonte energética, mas no serviço por ela prestado, por exemplo: o sabor do alimento preparado em fogão a lenha pode ter mais valor para o usuário do que a eficiência de um sistema elétrico (SEIFER; TRIGOSO, 2012).

Um bom projeto de ERD começa com um bom entendimento das necessidades da população. As soluções mais comuns de ERD estabelecem um sistema fotovoltaico padrão que, em tese, atenderia a demanda média de todos os domicílios rurais. Na realidade, qualquer análise de campo revela que tanto a necessidade quanto a capacidade de pagamento não são constantes e exigem uma análise a fim de determinar as diferentes demandas da população rural. (DE GOUVELLO; MAIGNE, 2003).

Também é importante ressaltar que o aquecimento global tem despertado o interesse de governos, institutos de pesquisa e empresas para o desenvolvimento de energias renováveis e já é possível observar que não há uma tecnologia específica que resolverá todos os problemas da humanidade nesse quesito. Ao invés disso, o ser humano deve apostar em uma variedade de tecnologias alternativas de geração de energia para realizar a transição da atual matriz energética baseada em combustíveis fósseis para uma matriz baseada em energias limpas (LAWS; EPPS, 2016).

A eletrificação é um processo de transição energética que envolve aceitação da tecnologia, difusão, capacidade de manutenção e apropriação por parte dos usuários, aspectos geralmente negligenciados e que são frequentemente apontados como causas dos fracassos. Por isso, pesquisadores afirmam que promover a implementação de novas tecnologias em comunidades tradicionais e a apropriação dos sistemas de geração de energia elétrica por estas comunidades exige conhecimento prévio sobre as mesmas (FEDRIZZI, ZILLES, 2003; HAHN, CONDORI, SCHMIDT, 1998 e RIBEIRO et al., 2013).

Portanto, com o objetivo de conhecer melhor as necessidades da população rural, foi realizado um estudo exploratório em regiões rurais nos estados da Bahia (Correntina), Goiás (Alto Paraíso de Goiás e Colinas do Sul) e Distrito Federal (Rota do Cavalo). Diversas propriedades rurais foram visitadas e, através de entrevistas informais, buscou-se vivenciar um pouco da vida no campo e conhecer seus habitantes, entendendo melhor suas demandas. Após o estudo, o sítio Veredão, localizado no município de Correntina, na Bahia, foi escolhido como foco desse trabalho principalmente por ser o local com maior dificuldade de acesso à energia elétrica dentre os visitados e, também, por já ter uma ligação com a Universidade de Brasília.



Figura 1: Entrevista com moradores da zona rural de Colinas do Sul/GO. (Foto: Francineide Marinho Santos).



Figura 2: Entrevista com moradores da zona rural de Colinas do Sul/GO. (Foto: Francineide Marinho Santos).

1.2 HISTÓRICO E CARACTERIZAÇÃO DO SÍTIO VEREDÃO (CORRENTINA/BA)

O município de Correntina, localizado no oeste da Bahia a 530 km da capital federal e a 920 km de Salvador, possui cerca de trinta e dois mil habitantes em uma área de mais de doze milhões de quilômetros quadrados. A economia da cidade gira em torno da agropecuária de larga escala, onde nota-se a presença de grandes plantações de milho e soja (CORRENTINA, 2016). A Figura 3 destaca a localização de Correntina e do sítio Veredão no mapa.



Figura 3: Localização de Correntina e do sítio Veredão (Fonte: GOOGLE, 2016).

O sítio Veredão, que faz parte da comunidade de Arrojelândia, a cerca de 90 km do centro do município de Correntina, é o local de residência de Leia Van Den Beusch, funcionária aposentada do Hospital Universitário de Brasília (HUB). O local possui uma conexão de longa data com a Universidade de Brasília (UnB). Tudo começou no início da década de 1990, quando o marido de Leia, Edgard Van Den Beusch, ex-professor de medicina da UnB e do Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) e ex-funcionário do HUB, propôs a pesquisadores da Faculdade de Tecnologia da UnB a construção de uma turbina que aproveitasse a energia mecânica do Rio das Éguas, afluente do Rio Corrente e que passa em frente à casa de Leia, para gerar eletricidade para o posto de saúde construído por ele mesmo, por meio do qual Edgard prestava atendimento médico à comunidade (TURBINA, 2007 e TURBINA, 2004).

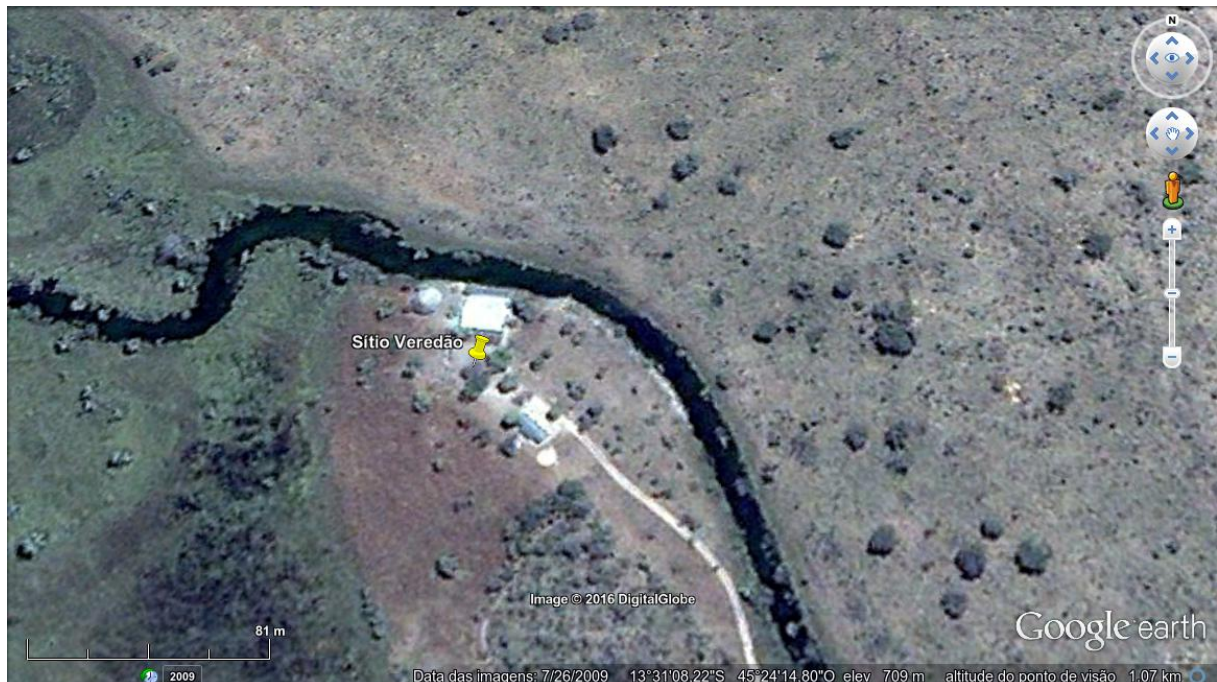


Figura 4: Imagem destacando o sítio Veredão (Fonte: GOOGLE, 2015).

Com apoio da Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos (FINATEC), a partir de 1991, os pesquisadores do Departamento de Engenharia Mecânica da UnB começaram a experimentar turbinas hidrocinéticas que pudessem obter energia elétrica através do rio que passava ao lado do local onde fora construído o posto de saúde. O primeiro protótipo gerava 12 V em corrente contínua, alimentando somente algumas lâmpadas. Já o segundo protótipo, conseguia gerar 220 V em corrente alternada, suprimindo uma boa parte da demanda do posto de saúde. Finalmente em 1995 foi construída uma turbina que chegou a funcionar durante cerca de quinze anos (ELS, et al., 2003; ELS; BRASIL JUNIOR, 2015; ELS; CAMPOS; SALOMON, 2005; TURBINA, 2007 e TURBINA, 2004). Além disso, outras formas de geração de energia elétrica já foram instaladas no sítio Veredão antes e depois da turbina hidrocinética, como painéis fotovoltaicos e gerador a diesel com gaseificador de biomassa.

Atualmente o posto de saúde encontra-se desativado e a casa de Leia está sem energia elétrica. O acesso à água se dá através de uma bomba d'água movida a gasolina e o preparo de alimentos é feito com fogão convencional a gás, que gastam, em média, um litro de gasolina por mês e quatro botijões de gás por ano, respectivamente. A Sra. Van Den Beusch mora sozinha no sítio e recebe visitas esporádicas dos familiares que vêm para passar feriados e temporadas.

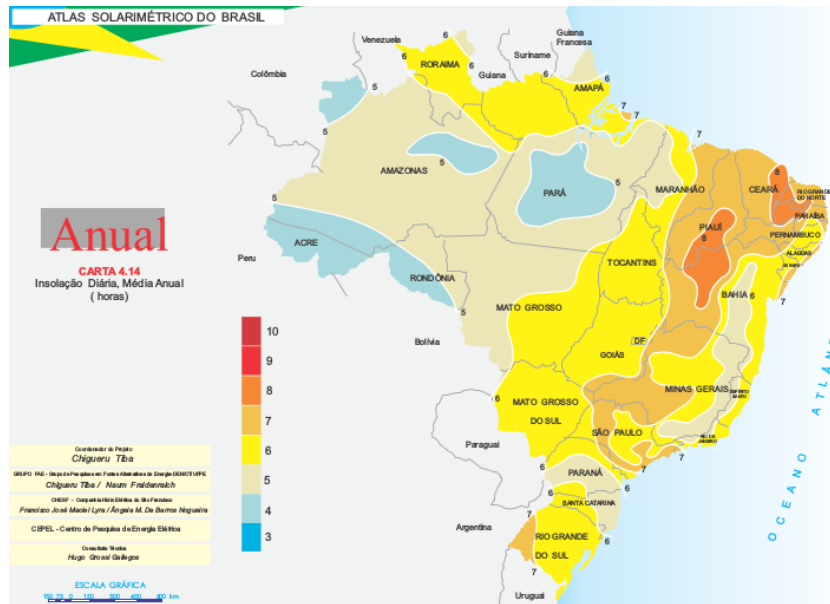


Figura 6: Insolação diária (Fonte: CEPEL; ELETROBRÁS, 2000).

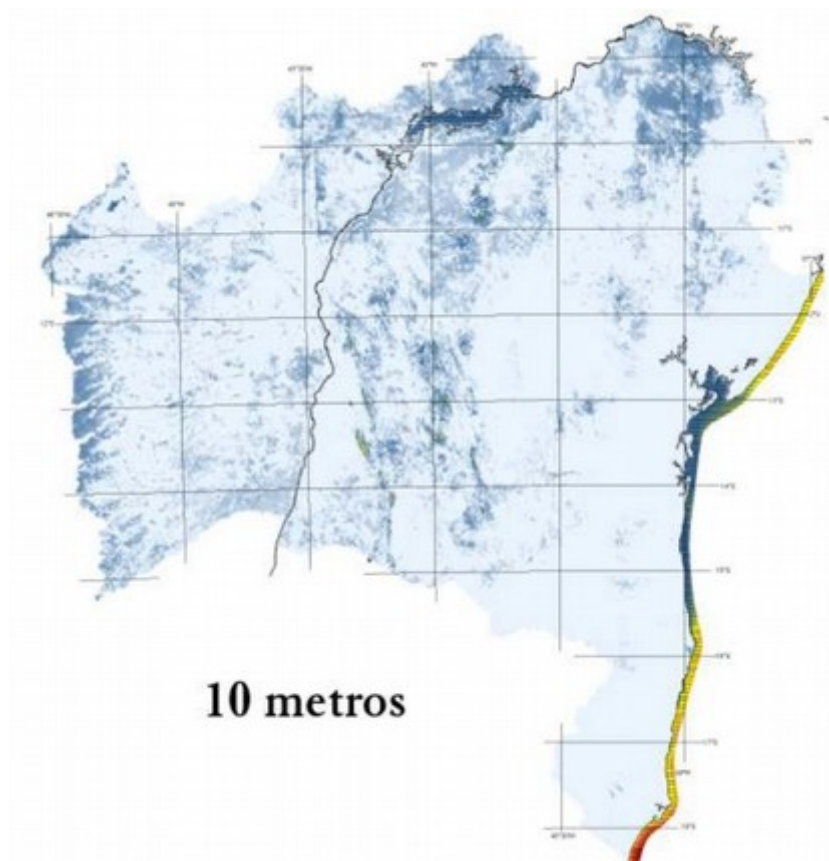


Figura 7: Velocidade média anual do vento na Bahia (Fonte: COELBA, 2001).



Figura 8: Legenda para o mapa da Figura 7
(Fonte: COELBA, 2001).



Figura 9: Imagem do Rio das Éguas, comunidade de Arrojelândia, Correntina/BA (Foto: Francineide Marinho Santos).

1.3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

Nesse trabalho, para realizar o dimensionamento de um sistema de geração específico para o sítio Veredão, serão utilizadas as primeiras partes da metodologia de desenvolvimento de produtos proposta por Rozenfeld, et al. (2006). Esta seção apresentará uma visão geral dessa metodologia e explicitará quais partes do método serão usadas no trabalho, explicando o porquê dessa escolha.

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) é voltado principalmente para o desenvolvimento de bens de consumo duráveis e de capital, porém a metodologia pode ser adaptada para o desenvolvimento de sistemas, como é o caso desse trabalho.

De modo geral, desenvolver produtos consiste em um conjunto de atividades por meio das quais busca-se, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo. O desenvolvimento de produto também envolve as atividades de acompanhamento do produto após o lançamento para, assim, serem realizadas as eventuais mudanças necessárias nessas especificações, planejada a descontinuidade do produto no mercado e incorporadas, no processo de desenvolvimento, as lições aprendidas ao longo do ciclo de vida do produto. (ROZENFELD et al., 2006)

A partir do parágrafo acima, pode-se perceber que o processo de desenvolvimento de um produto (ou sistema) é algo muito complexo envolvendo especialistas de diferentes áreas. A proposta desse trabalho não é desenvolver e fabricar um sistema totalmente novo, planejar sua manufatura e descontinuidade, mas sim utilizar produtos já existentes no mercado arranjando-os de forma a melhor suprir as necessidades de energia do usuário, ou seja, este trabalho focará na parte da metodologia que gera as especificações técnicas de projeto, buscando atendê-las da melhor forma com produtos já existentes.

O PDP é dividido em macrofases, que são subdivididas em fases. As três macrofases são: Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento. As macrofases de Pré- e Pós-Desenvolvimento são genéricas para praticamente qualquer sistema, já o Desenvolvimento enfatiza aspectos tecnológicos. A primeira fase da macrofase de Desenvolvimento, o Projeto Informacional, tem como objetivo gerar as especificações meta do produto que se deseja desenvolver. Portanto, esse trabalho irá se concentrar no Projeto Informacional do sistema. A Figura 10 mostra uma visão geral do processo de desenvolvimento de produtos.

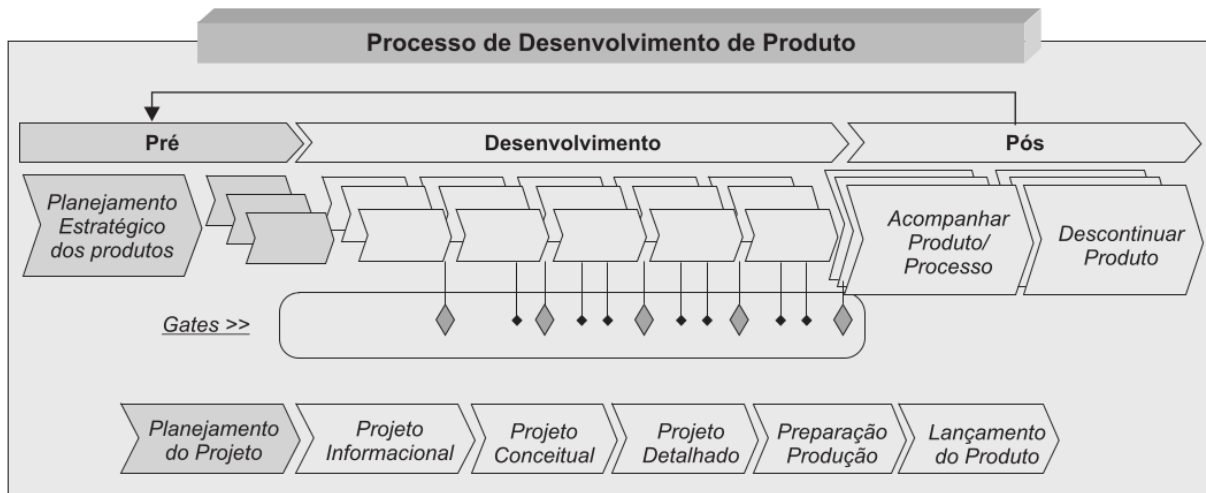


Figura 10: Visão geral do processo de desenvolvimento de produtos (Fonte: ROZENFELD et al., 2006).

As atividades do Projeto Informacional consistem em definir o problema (seção 1.1 desse trabalho), ou seja, o que se pretende resolver com o sistema, identifica-se, então, as pessoas envolvidas com o sistema durante o seu ciclo de vida (clientes, pessoal da assistência técnica, manufatura, etc.) e levantam-se quais são as suas necessidades. Com base nessas necessidades e requisitos, todas as especificações meta do sistema são determinadas e documentadas. O envolvimento das pessoas da cadeia de suprimentos e o contato com clientes em potencial são primordiais para garantir a qualidade das especificações.

1.4 OBJETIVO

Baseado no que foi apresentado nesta introdução, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo dimensionar um sistema de geração para eletrificação rural descentralizada que atenda às principais necessidades energéticas do sítio Veredão (localizado no município de Correntina, Bahia) observando fatores tecnológicos, ambientais, sociais e econômicos. Para isso, será desenvolvido o Projeto Informacional do sistema, visando proporcionar soluções energéticas específicas para cada um dos seus usos finais, evitando a fixação em soluções comuns.

2 PROJETO INFORMACIONAL

Nesta seção será feita uma revisão bibliográfica sobre as principais ferramentas do Projeto Informacional que serão usadas neste trabalho de conclusão de curso. O Projeto Informacional é uma fase do processo de desenvolvimento de sistemas cujo objetivo é desenvolver as especificações meta. Para isso, é necessário mapear os atores da cadeia produtiva e os clientes do ciclo de vida do sistema. Depois, são levantadas as necessidades dos clientes, que, por sua vez, são transformadas em requisitos de clientes e, posteriormente, em requisitos de sistema. Os requisitos de clientes são as necessidades dos clientes escritas de maneira mais técnica. Já os requisitos de sistema são os requisitos dos clientes descritos como parâmetros mensuráveis. Finalmente, os requisitos de sistema serão convertidos em especificações meta, ou seja, parâmetros quantitativos e mensuráveis associados com valores meta (ROZENFELD et al., 2006).

2.1 CLIENTES E CICLO DE VIDA

Uma das primeiras etapas do Projeto Informacional é o detalhamento do ciclo de vida do sistema e a identificação dos clientes envolvidos em cada etapa deste ciclo. Desenvolver uma descrição gráfica da história do sistema, que englobe desde os primeiros esforços empregados para criar o sistema até o descarte de seus componentes fornecerá uma visão mais ampla do processo permitindo o desenvolvimento de soluções específicas para cada cliente.

Na Figura 11, podemos ver uma representação genérica com etapas que normalmente estão presentes no ciclo de vida da maioria dos sistemas. Apesar de cada um possuir seu próprio ciclo de vida, essa representação pode servir como base para auxiliar na identificação do ciclo de vida do sistema que será dimensionado nesse trabalho.

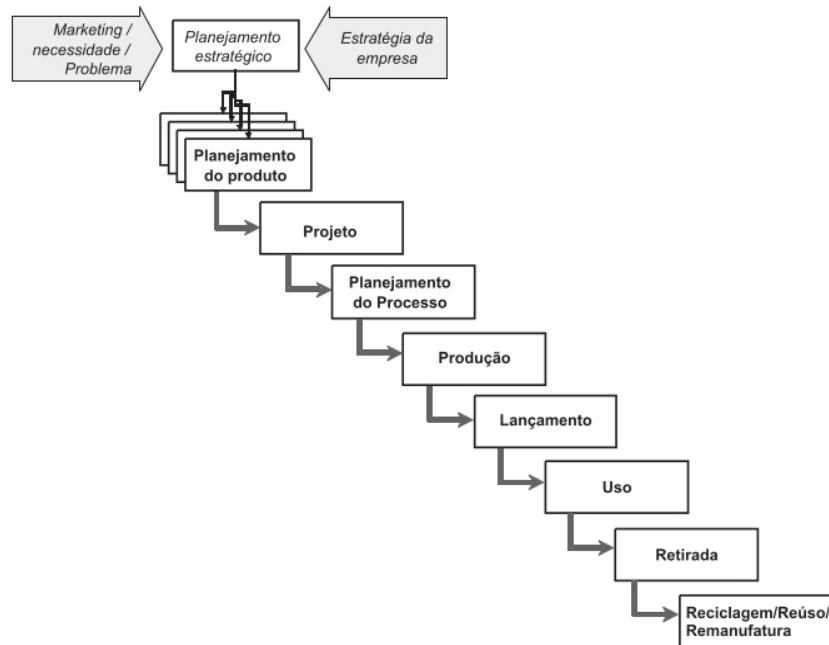


Figura 11: Ciclo de vida genérico (Fonte: ROZENFELD et al., 2006).

2.2 IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS DE CLIENTES

O objetivo desta fase do Projeto Informacional é levantar as necessidades dos clientes de cada fase do ciclo de vida do sistema e transformá-las em requisitos de clientes. As necessidades dos clientes são a “voz” dos clientes, já os requisitos de clientes são as necessidades escritas em linguagem mais técnica, de modo que o projetista possa transformar essa “voz” em parâmetros técnicos mais facilmente.

Rozenfeld et al. (2006) afirma que os dados sobre as necessidades podem ser obtidos a partir de fontes primárias e de fontes secundárias. Quando os dados são obtidos especificamente para o projeto, diz-se que são obtidos de fontes primárias, exemplos são entrevistas, observações de campo e pesquisa com grupos focais. Por outro lado, quando os dados são gerados para outros fins, mas são úteis para o projeto, diz-se que foram obtidos a partir de fontes secundárias, como, por exemplo, por censos do IBGE ou pesquisas publicadas em revistas e jornais científicos.

2.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DE SISTEMA

Os requisitos de sistema, são os requisitos de clientes descritos através de parâmetros mensuráveis. Eles comunicam quais são os indicadores que devem ser monitorados para que o projetista saiba se as necessidades dos clientes estão

sendo satisfeitas. Para isso, um primeiro passo é priorizar os requisitos de clientes com auxílio dos diagramas de Mudge e de Pareto.

O Diagrama de Mudge é uma ferramenta que permite a comparação direta dos requisitos dos clientes entre si. Em cada comparação, o projetista define qual requisito é mais importante, estabelecendo graus de importância associados a valores numéricos. Em seguida, os valores de cada requisito são somados, os requisitos que apresentarem maior soma serão os mais importantes e que deverão ser priorizados no projeto.

O uso do Diagrama de Mudge será de grande ajuda para quantificar a importância dos requisitos dos clientes, fazendo com que o sistema projetado atenda aos principais requisitos, gerando mais satisfação a todos os clientes.

| Requisitos | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Soma | % |
|------------|-------|---|----|----|----|----|----|------|-----|
| 1 | 1B | | 3A | 1A | 5B | 1B | 7C | 11 | 16 |
| | 2 | | 3A | 2B | 2B | 6A | 7C | 06 | 08 |
| | 3 | | | 3A | 3B | 3C | 3C | 20 | 28 |
| | 4 | | | | 5C | 6A | 7A | 00 | 00 |
| | 5 | | | | | 6A | 7A | 04 | 06 |
| | 6 | | | | | | 7C | 15 | 21 |
| | 7 | | | | | | | 14 | 21 |
| | Total | | | | | | | 70 | 100 |

A = 5
 B = 3
 C = 1

Lista de Requisitos:

- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1. Ser resistente | 5. Ter baixo custo de aquisição |
| 2. Ser seguro | 6. Ter baixo custo de manutenção |
| 3. Ter várias funcionalidades | 7. Ser confiável |
| 4. Ser bonito | |

Figura 12: Exemplo de Diagrama de Mudge (Fonte: SANTOS, 2016).

Caso existam muitos requisitos de clientes, a análise dos requisitos pode se tornar muito longa e complexa. O uso do Diagrama de Pareto pode auxiliar o projetista a selecionar quais requisitos devem ser priorizados, diminuindo a quantidade destes e simplificando o processo. O Diagrama de Pareto analisa a soma dos valores numéricos relacionados aos graus de importância estabelecidos no Diagrama de Mudge de cada requisito de cliente e a soma total de todos os

requisitos. Geralmente são priorizados os requisitos cujos valores de importância somados resultem em 80% da soma total. Além disso, uma análise qualitativa também pode ser feita para escolher os requisitos priorizados.

Por fim, os requisitos de clientes mais importantes são transformados para a linguagem de requisitos de sistema pelo projetista.

| Função | Pontos | Importância (%) |
|--------|--------|-----------------|
| A | 21,00 | 36,21% |
| B | 13,00 | 22,41% |
| E | 10,00 | 17,24% |
| H | 6,00 | 10,34% |
| C | 4,00 | 6,90% |
| D | 3,00 | 5,17% |
| F | 1,00 | 1,72% |
| G | 0,00 | 0,00% |
| Total | 58 | 100,00 |

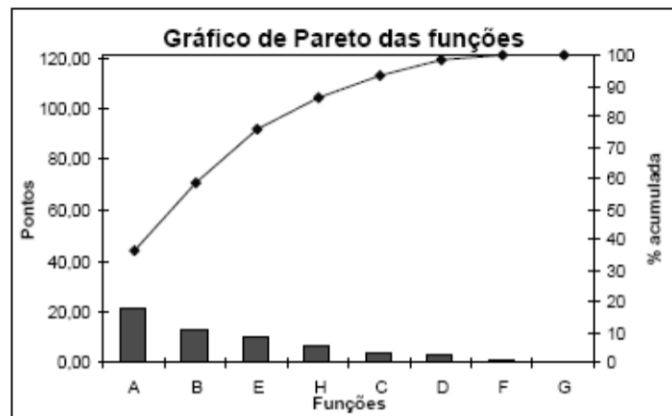


Figura 13: Exemplo de Diagrama de Pareto (Fonte: SANTOS, 2016).

2.4 DIAGRAMA DE KANO

Os clientes normalmente se expressam em termos das falhas dos produtos (sistemas), ou do que eles não gostaram na sua experiência com o uso deste. Isso requer um esforço do projetista para descobrir o que os clientes esperam do produto, ou seja, suas necessidades não verbalizadas. Essa dificuldade pode ser representada graficamente, considerando-se a satisfação dos clientes versus o desempenho do produto conhecido como Diagrama de Kano, mostrado na Figura 14.

De acordo com esse diagrama, determinados requisitos de projeto são considerados básicos, ou óbvios. São requisitos não mencionados pelos clientes, mas se o produto não cumpri-los os consumidores ficarão insatisfeitos. Outro tipo de requisito são os de desempenho esperado, ou lineares. Esses requisitos são verbalizados pelos clientes e, quanto melhor o seu desempenho, maior será a satisfação dos clientes.

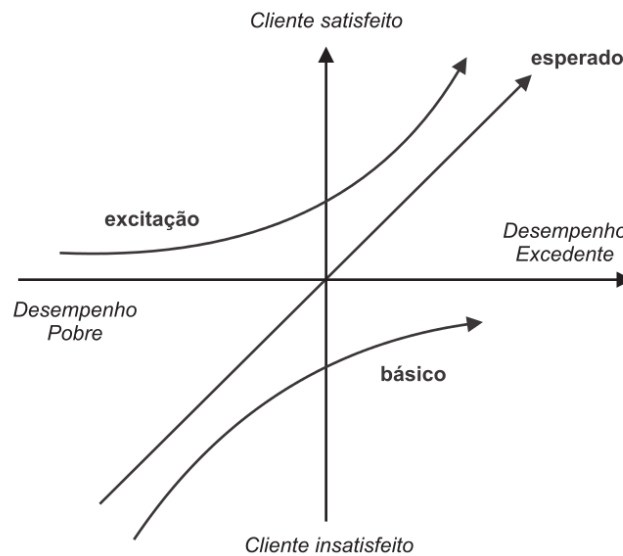


Figura 14: Diagrama de Kano (Fonte: ROZENFELD et al., 2006).

O terceiro tipo de requisito são os chamados de excitação, que geralmente não são verbalizados pelos clientes, e que representam desejos ocultos, insatisfações toleradas, expectativas não alcançadas, novas interfaces de uso e aplicação, etc. Quando cumpridos, esses requisitos geram benefícios não esperados pelo cliente e um maior grau de satisfação.

2.5 QFD

O QFD (*Quality Function Deployment*), também conhecido como Matriz Casa da Qualidade é uma das técnicas mais utilizadas no desenvolvimento de sistemas que auxilia na transformação das necessidades dos clientes em especificações meta. A estrutura típica do QFD apresenta 7 campos, conforme mostrado na Figura 15. No campo 1 são colocados os requisitos dos clientes e os respectivos graus de importância são colocados no campo 2. O benchmarking competitivo é feito no campo 3, ou seja, analisa-se se os sistemas concorrentes estão satisfazendo os requisitos dos clientes. No campo 4 são colocados os requisitos de sistema, que são relacionados com os requisitos dos clientes na Matriz de Relacionamento, campo 5, onde é analisado se existe relação entre os requisitos e o respectivo grau de intensidade. A quantificação dos requisitos de sistema, que gerarão as especificações meta, é feita no campo 6. Finalmente, no campo 7 (Telhado da Casa da Qualidade), é feita a comparação dos requisitos de sistema entre si (ROZENFELD et al., 2006).

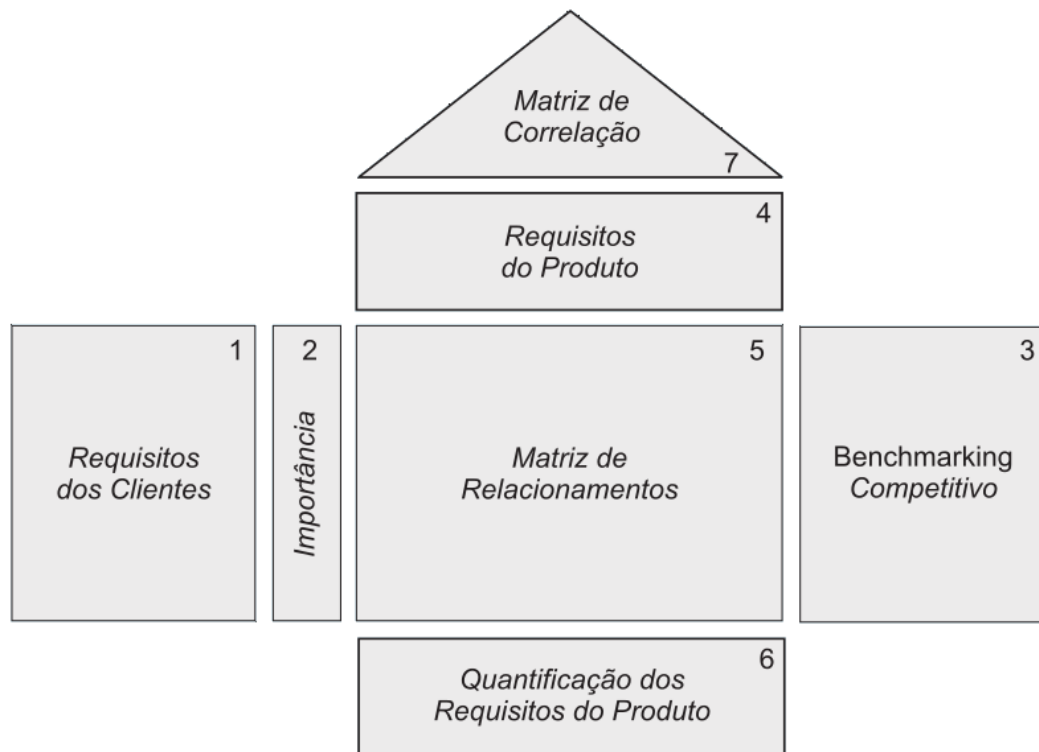


Figura 15: Estrutura do QFD (Fonte: ROZENFELD et al., 2006).

3 PROJETO INFORMACIONAL DO SISTEMA

Nesta seção serão descritas as partes da metodologia de Projeto Informacional que foram aplicadas neste Trabalho de Conclusão de Curso. Primeiro serão detalhadas as fases do ciclo de vida do sistema baseado na metodologia descrita na seção 2. Em seguida, as necessidades dos clientes de cada fase serão identificadas com base em entrevistas e em uma revisão bibliográfica e posteriormente transformadas em requisitos de clientes e de sistema. Finalmente os requisitos serão priorizados as especificações meta serão definidas.

3.1 CICLO DE VIDA DO SISTEMA E CLIENTES

Baseado nas etapas genéricas do Processo de Desenvolvimento de Produtos mostradas por Rozenfeld et al. (2006, p. 217), pode-se definir o ciclo de vida de um sistema de Eletrificação Rural Descentralizada a partir das seguintes etapas: Projeto; Montagem e instalação; Operação; Manutenção e Descarte.

A etapa de Projeto é composta pelo Projeto Informacional do sistema, assim como o dimensionamento do sistema para o usuário final, no caso, o sítio Veredão, localizado em Correntina/BA. Nessa fase serão levantadas as especificações meta do sistema e serão definidas quais tecnologias de geração e quais componentes formarão o sistema. O usuário final, maior interessado no projeto, e o projetista do sistema são os clientes dessa etapa.

Após a definição e dimensionamento do sistema, a etapa seguinte será composta por: transporte dos componentes, montagem e instalação do sistema no local onde o mesmo será usado. Nessa etapa é importante entrar em contato com fornecedores e fabricantes de peças e equipamentos, bem como com profissionais que efetuem serviços elétricos e de transporte na região, para verificar a disponibilidade de componentes e mão de obra para instalação do sistema e possibilidade de entrega de materiais no local.

Em seguida vem a etapa de operação (ou uso) do sistema. Como o sistema projetado abastecerá apenas uma unidade consumidora, o operador do sistema será o próprio usuário. Em paralelo com a Operação, ocorre a etapa de Manutenção do sistema, que pode ser feita tanto pelo usuário, quando forem serviços simples

(limpeza, por exemplo), ou por técnicos capacitados, no caso de serviços mais complexos (troca de componentes, reparos, etc.).

Ao fim da vida útil do sistema, ou de componentes do sistema, é importante o usuário levar em consideração a Política Nacional de Resíduos Sólidos para realizar a etapa de Descarte de maneira correta, em conformidade com a lei e de maneira que não cause impactos indesejados ao meio ambiente.

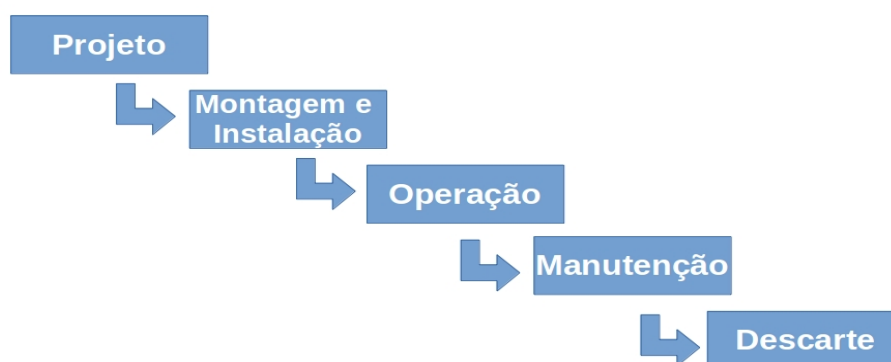


Figura 16: Ciclo de vida do sistema. (Fonte: o próprio autor)

3.2 IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES

Neste Trabalho de Conclusão de Curso obteve-se dados tanto de fontes primárias quanto de fontes secundárias. Os dados de fontes primárias foram resultados de observações de campo e entrevistas realizadas com populações rurais em visitas às regiões de Correntina/BA, Alto Paraíso de Goiás, Colinas do Sul/GO e Rota do Cavalo/DF. Já os dados de fontes secundárias foram obtidos através de uma revisão bibliográfica de trabalhos publicados sobre o tema de eletrificação rural.

3.2.1 Levantamento de dados secundários

Foi feita uma busca na bibliografia de autores que relataram experiências de instalações de sistemas de geração de energia elétrica em comunidades isoladas com o objetivo de identificar lições aprendidas já relatadas.

Segundo Fedrizzi e Zilles (2013), e Fedrizzi e Sauer (2003), a capacitação e a participação do usuário são de fundamental importância para a eficácia de um projeto de instalação de painéis fotovoltaicos em comunidades isoladas, pois promove uma maior aceitação da tecnologia por parte dos moradores, além de

diminuir os custos de instalação e manutenção. Da mesma forma, Barbosa et al. (2003) relata que a maioria dos problemas de descontinuidade na entrega de energia são causados por falta de assistência e informação aos usuários.

Capacitar e garantir a participação dos usuários não é suficiente se os próprios clientes não tiverem condições financeiras de repor equipamentos e componentes do sistema que venham a parar de funcionar, promovendo a manutenção do sistema ao longo do tempo. O acesso à assistência técnica em local próximo é uma das coisas que torna um projeto sólido e sustentável, podendo ser executado em larga escala (FEDRIZZI; SAUER, 2003).

Por isso, o desenvolvimento de uma rede de conhecimento que divulgue a tecnologia e promova o suporte técnico local ainda é um desafio a ser superado. Do mesmo modo, para um projeto de eletrificação rural realmente sustentável, é preciso um programa de treinamento destinado aos usuários e técnicos locais, confeccionando, inclusive, manuais detalhados. É necessário também a adaptação de alguns componentes para o clima quente e úmido do Brasil, bem como a escolha de tecnologias mais adequadas à realidade local, em vez de escolher as mais facilmente disponíveis (BARBOSA et al., 2003).

Nascimento et al. (2003) relata que, na instalação de sistemas fotovoltaicos através do PRODEEM (Programa para o Desenvolvimento da Energia nos Estados e Municípios), o uso de luminárias alimentadas por corrente contínua (CC) pode ser um fator crítico devido à alta taxa de falhas, quando comparadas com as de corrente alternada (CA), e por serem caras e de difícil reposição. Da mesma forma, sistemas maiores em corrente contínua e baixa tensão (12V) podem necessitar de cabos mais grossos e mais controladores de carga em paralelo, encarecendo o sistema. As baterias convencionais de 6V também apresentam os mesmos problemas das luminárias, além de apresentar baixas taxas de eletrólito algumas vezes e necessitar de reposição de água destilada, algo de difícil acesso para a maioria das comunidades isoladas (NASCIMENTO et al., 2003).

Com base em pesquisas aplicadas por Barbosa et al. (2003) a usuários de sistemas solares individuais instalados em Pernambuco, a maior parte das descontinuidades na entrega de eletricidade por esses sistemas é devido a falhas nas lâmpadas e nas baterias. São observadas muitas lâmpadas instaladas em locais inadequados, geralmente próximo a fogões a lenha, cuja fumaça expelida causa

escurecimento das lâmpadas e diminuem sua vida útil. Já os problemas nas baterias geralmente são causados por controladores de carga que não controlam realmente a carga e descarga das mesmas (BARBOSA et al., 2003).

O uso de inversores inadequados também pode causar problemas em sistemas fotovoltaicos. Foram relatados problemas na operação de luminárias CA com inversores que não geravam formas de onda puramente senoidais, muitas vezes necessitando de alteração dos inversores. Ademais, o uso de inversores com pouca capacidade de pico pode não ser suficiente para ligar alguns eletrodomésticos ou equipamentos que apresentem alta corrente de pico, como algumas geladeiras (NASCIMENTO et al., 2003).

Além disso, Nascimento et al. (2003) também relata uma alta taxa de falha em motores e conversores, principalmente bombas de água, geralmente relacionadas com: informações imprecisas sobre locais de poços, desmoronamento de poços, sucção de lodo pelas bombas e corrosão dos eixos dos motores pela água salobra presente em alguns locais do Brasil.

Apesar da aquisição de novos bens pelos usuários de sistemas de geração elétrica fotovoltaica após a eletrificação, não foram observadas mudanças significativas no perfil previsto das cargas. Porém, esses beneficiários geralmente explicitam um desejo por maior disponibilidade de energia (BARBOSA et al., 2003).

A Tabela 1 abaixo, mostra as necessidades dos clientes extraídas dos dados secundários levantados.

| Necessidades |
|-------------------------------------------|
| Capacitar usuário |
| Participação do usuário no projeto |
| Assistência técnica acessível |
| Usar equipamentos adequados |
| Equipamentos com baixas taxas de falhas |
| Equipamentos com baixo custo |
| Equipamentos com fácil reposição |
| Instalar equipamentos em locais adequados |
| Baixo custo |
| Prever aumento de carga |

Tabela 1: Dados secundários transformados em necessidades dos clientes. (Fonte: o próprio autor)

3.2.2 Entrevistas e observações de campo

Foram feitas entrevistas presenciais qualitativas com o objetivo de levantar as necessidades dos clientes e entender o modo de vida da população rural. Em seguida, as necessidades levantadas foram transformadas em requisitos de clientes.

As entrevistas e observações de campo (fontes de dados primários) mostraram que, no sítio Veredão, os principais usos de energia dizem respeito a: bombeamento de água para consumo, iluminação, comunicação (rádio a pilha), transporte e preparo de alimentos. Além disso, as conversas também demonstraram o desejo da moradora do sítio por maior fornecimento de energia para poder ligar mais eletrodomésticos (geladeira, liquidificador e ferro de passar roupa foram destacados como os mais importantes), além do desejo de ter um sistema de irrigação e uma chocadeira de ovos de galinha.

A moradora relatou a experiência com três tecnologias diferentes de geração elétrica que já existiram no sítio: fotovoltaica, turbina hidrocinética e conjunto gerador a diesel acoplado com gaseificador de biomassa. Segundo a entrevistada, o painel fotovoltaico supria somente a demanda de iluminação e, quando parou de funcionar, não foi possível consertar por falta de assistência técnica na região. Por outro lado, a turbina hidrocinética supria quase todas as necessidades de energia elétrica, menos o ferro de passar roupa. Porém, também era muito difícil de realizar manutenção. Já o gerador a diesel acoplado com gaseificador de biomassa foi a tecnologia que melhor correspondeu às necessidades de energia elétrica. Mas tinha o defeito de ser de difícil manutenção e operação e havia dificuldade, por parte dos usuários, em conseguir matéria-prima para abastecer o sistema de gaseificação de biomassa, isso levava os usuários muitas vezes a usar diesel como combustível, porém, este é muito caro. Esse conjunto de fatores acabou desestimulando o uso do gerador.

As entrevistas realizadas nas outras comunidades rurais, que já são eletrificadas, permitiu perceber desejos que, apesar de não verbalizados pela moradora do sítio, podem vir a se tornar necessidades futuras após o acesso dela à energia elétrica de melhor qualidade. Essas necessidades estão relacionadas ao acesso a outros meios de comunicação (telefone, TV a cabo e internet) e a mais opções de eletrodomésticos (máquina de lavar, freezer, ventilador, chuveiro elétrico e aparelho de som).

Foi possível perceber que população não se preocupa com o modo como a energia é gerada e transmitida, contanto que esteja disponível em sua casa. Porém muitos demonstraram interesse e curiosidade com relação a novas tecnologias e energias renováveis, principalmente por causa de seu menor impacto no meio ambiente. Foi relatado também, por parte de alguns dos entrevistados, o desejo de manter o uso de forno a lenha por causa do sabor diferenciado que este deixa na comida e também pela rapidez de preparo de alguns alimentos, facilitando quando deve ser preparado grande quantidade de alimentos.

Os entrevistados muitas vezes expressaram demandas de energia através do desejo de possuir eletrodomésticos. Com base nas falas da moradora do sítio Veredão sobre os tipos de eletroeletrônicos que a mesma gostaria de usufruir e na observação dos eletrodomésticos presentes nas casas de comunidades já eletrificadas, é possível fazer uma ligação com o tipo de serviço de energia relacionados a esses equipamentos. Essa separação é importante para não prender este trabalho a uma solução comum (que seria simplesmente instalar um sistema que ligasse esses eletrodomésticos). A conexão é demonstrada na Tabela 2 abaixo, em que são exibidos os equipamentos e os respectivos serviços de energia relacionados a estes.

| Equipamentos desejados | Serviços relacionados |
|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| Televisão | Bombear água |
| Geladeira | Controlar irrigação |
| Internet | Lavar roupa |
| Irrigação | Gerar vento |
| Chocadeira | Iluminação |
| Telefone | Entretenimento/comunicação (tv, rádio, internet) |
| Tv a cabo | Preparo de alimentos |
| Máquina de lavar | Chocar ovos |
| Freezer | Esquentar água |
| Ventilador | Conservar alimentos |
| Chuveiro elétrico | Triturar alimentos |
| Rádio | Passar roupa |
| Liquidificador | |
| Ferro de passar roupa | |

Tabela 2: Transformação do desejo de equipamento em serviço de energia. (Fonte: o próprio autor).

3.2.3 Necessidades e requisitos dos clientes

Baseado nos dados secundários, é possível identificar as necessidades mais genéricas dos clientes de cada fase do ciclo de vida, descritas na linguagem dos próprios clientes. A partir disso, é possível transformar as necessidades de clientes em requisitos, conforme mostrado na Tabela 3.

| Fase do ciclo de vida | Clientes | Necessidades | Requisitos de Clientes | Nº |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----|
| Projeto | Projetista | Baixo impacto ambiental | Provocar baixo impacto ambiental | 1 |
| | | Fácil de fazer | Apresentar baixa complexidade de projeto | 2 |
| | | Contar com participação do usuário | Envolver participação do usuário | 3 |
| | | Escolher tecnologias mais adequadas à realidade local | Escolher tecnologias mais adequadas à realidade local | 4 |
| | Usuário final | Poder ligar mais aparelhos depois | Prever aumento de carga no dimensionamento | 5 |
| | | Colocar equipamentos certos | Dimensionar equipamentos corretamente | 6 |
| | | Permitir atualização do sistema | Ser modular | 7 |
| Montagem e instalação | Equipe de montagem e instalação | Fácil montagem e instalação | Possuir montagem e instalação intuitivas | 8 |
| | Usuário final | Baixo custo | Ter baixo custo de investimento | 9 |
| | | Capacitação de técnicos locais | Fornecer capacitação em montagem e instalação | 10 |
| | | Instalar equipamentos em locais adequados | Instalar equipamentos em locais adequados | 11 |
| Operação | Usuário final | Fácil operação | Ter operação intuitiva | 12 |
| | | Ser capacitado | Capacitar usuário na operação do sistema | 13 |
| | | Ter energia | Bombear água | 14 |
| | | | Controlar irrigação | 15 |
| | | | Lavar roupa | 16 |
| | | | Gerar vento | 17 |
| | | | Ter iluminação | 18 |
| | | | Ter entretenimento/comunicação (tv, rádio, internet) | 19 |
| | | | Preparar alimentos | 20 |
| | | | Chocar ovos | 21 |
| | | | Esquentar água | 22 |
| | | | Conservar alimentos | 23 |
| | | | Triturar alimentos | 24 |
| | | | Passar roupa | 25 |
| Manutenção | Usuário final e equipe de manutenção | Uso de equipamentos confiáveis e de fácil reposição | Apresentar baixa taxa de falhas | 26 |
| | | | Ter baixo custo de operação e manutenção | 27 |
| | | | Usar equipamentos fáceis de achar na região | 28 |
| Descarte | Agência fiscalizadora | Cumprir legislação pertinente | Cumprir lei de resíduos sólidos | 29 |
| | Usuário final | Facilidade de descarte | Ser de fácil descarte | 30 |

Tabela 3: Necessidades dos clientes de cada fase do ciclo de vida do sistema (Fonte: o próprio autor).

A Tabela 3 mostra as fases do ciclo de vida do sistema, os clientes de cada fase, as necessidades de cada cliente e os requisitos dos clientes. O requisito “Gerar vento” se refere à função desempenhada pelo ventilador, enquanto o requisito

“Esquentar água” diz respeito à água para banho, já o requisito “Triturar alimentos” refere-se ao que geralmente é feito pelo liquidificador.

3.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO SISTEMA

Para definir os requisitos do sistema a ser dimensionado, primeiramente foi feita a comparação dos requisitos de clientes entre si através do Diagrama de Mudge, conforme mostrado na Figura 17. Os números mostrados estão relacionados com os requisitos de clientes mostrados na Tabela 3. Para cada comparação, estabeleceu-se qual dos requisitos é o mais importante e uma nota para o grau de importância de acordo com a legenda.

| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | Soma | % | |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 1 | 1B | 3C | 4C | 1A | 6C | 1B | 1B | 9C | 10C | 11C | 1B | 13C | 14C | 15C | 16C | 17C | 18C | 19C | 20C | 21C | 22C | 23C | 24C | 25C | 26C | 27C | 28C | 29C | 1C | 18 | 2,98 | |
| 2 | | 3A | 4B | 5B | 6B | 7C | 8C | 9B | 10B | 11B | 12B | 13B | 14B | 15B | 16B | 17B | 18B | 19B | 20B | 21B | 22B | 23B | 24B | 25B | 26B | 27B | 28B | 29C | 30C | 0 | 0,00 | |
| 3 | | | 0 | 3C | 0 | 3B | 3B | 3B | 0 | 0 | 3B | 0 | 14C | 15C | 16C | 17C | 18C | 19C | 20C | 21C | 22C | 23C | 24C | 25C | 0 | 3C | 3C | 0 | 3C | 22 | 3,64 | |
| 4 | | | | 4B | 0 | 4B | 4A | 4C | 0 | 0 | 4B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4C | 4C | 0 | 0 | 4B | 24 | 3,97 |
| 5 | | | | | 6B | 5C | 5C | 9C | 10C | 11C | 5C | 13C | 14C | 15C | 16C | 17C | 18C | 19C | 20C | 21C | 22C | 23C | 24C | 25C | 26B | 27B | 28C | 29C | 5C | 7 | 1,16 | |
| 6 | | | | | | 6B | 6A | 6C | 0 | 0 | 6B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6C | 6C | 6C | 0 | 6B | 25 | 4,13 |
| 7 | | | | | | | 7C | 9C | 10C | 11C | 7C | 13C | 14C | 15C | 16C | 17C | 18C | 19C | 20C | 21C | 22C | 23C | 24C | 25C | 26B | 27B | 28C | 29C | 7C | 4 | 0,66 | |
| 8 | | | | | | | | 9A | 10A | 11A | 0 | 13A | 14A | 15A | 16A | 17A | 18A | 19A | 20A | 21A | 22A | 23A | 24A | 25A | 26B | 27B | 28A | 29A | 30C | 1 | 0,17 | |
| 9 | | | | | | | | | 10C | 11C | 9A | 13C | 14C | 15C | 16C | 17C | 18C | 19C | 20C | 21C | 22C | 23C | 24C | 25C | 26C | 0 | 28C | 29C | 9B | 17 | 2,81 | |
| 10 | | | | | | | | | | 11C | 10A | 0 | 14C | 15C | 16C | 17C | 18C | 19C | 20C | 21C | 22C | 23C | 24C | 25C | 26C | 10C | 10C | 29C | 10A | 24 | 3,97 | |
| 11 | | | | | | | | | | | 11A | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11C | 11C | 11C | 29C | 11A | 26 | 4,30 |
| 12 | | | | | | | | | | | | 12A | 14A | 15A | 16A | 17A | 18A | 19A | 20A | 21A | 22A | 23A | 24A | 25A | 26B | 27B | 28A | 29A | 12C | 4 | 0,66 | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13C | 28C | 29C | 13A | 23 | 3,80 | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14C | 14C | 14C | 0 | 14A | 27 | 4,46 |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15C | 15C | 15C | 0 | 15A | 27 | 4,46 |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16C | 16C | 16C | 0 | 16A | 27 | 4,46 |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17C | 17C | 17C | 0 | 17A | 27 | 4,46 |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18C | 18C | 18C | 0 | 18A | 27 | 4,46 |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19C | 19C | 19C | 0 | 19A | 27 | 4,46 |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20C | 20C | 20C | 0 | 20A | 27 | 4,46 |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21C | 21C | 21C | 0 | 21A | 27 | 4,46 |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 22C | 22C | 22C | 0 | 22A | 27 | 4,46 |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 23C | 23C | 23C | 0 | 23A | 27 | 4,46 |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 24C | 24C | 24C | 0 | 24A | 27 | 4,46 |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 25C | 25C | 25C | 0 | 25A | 27 | 4,46 |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 26C | 26C | 29C | 26B | 22 | 3,64 |
| 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 29C | 27B | 20 | 3,31 | |
| 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 28C | 28B | 21 | 3,47 |
| 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 29B | 21 | 3,47 |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 2 | 0,33 |
| Total | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 605 | 100 |

Legenda

A = 5

B = 3

C = 1

Figura 17: Diagrama de Mudge do sistema a ser dimensionado (Fonte: o próprio autor).

Em seguida, uma nova numeração foi proposta para os requisitos de clientes de acordo com os respectivos graus de importância. A Tabela 4 mostra essa nova numeração, com as correspondentes somas encontradas no Diagrama de Mudge e

o percentual acumulado de cada requisito para o total da soma. Após isso, é possível traçar também o Diagrama de Pareto (Figura 18).

A partir da análise da Tabela 4 e da Figura 18, pode-se definir os requisitos de clientes que serão priorizados. Pode-se perceber que os requisitos 25 a 30 (da nova numeração) apresentam baixa importância, portanto, eles podem ser desconsiderados nas análises futuras, uma vez que o atendimento a esses requisitos não possuem muita importância no projeto, quando comparados aos demais requisitos.

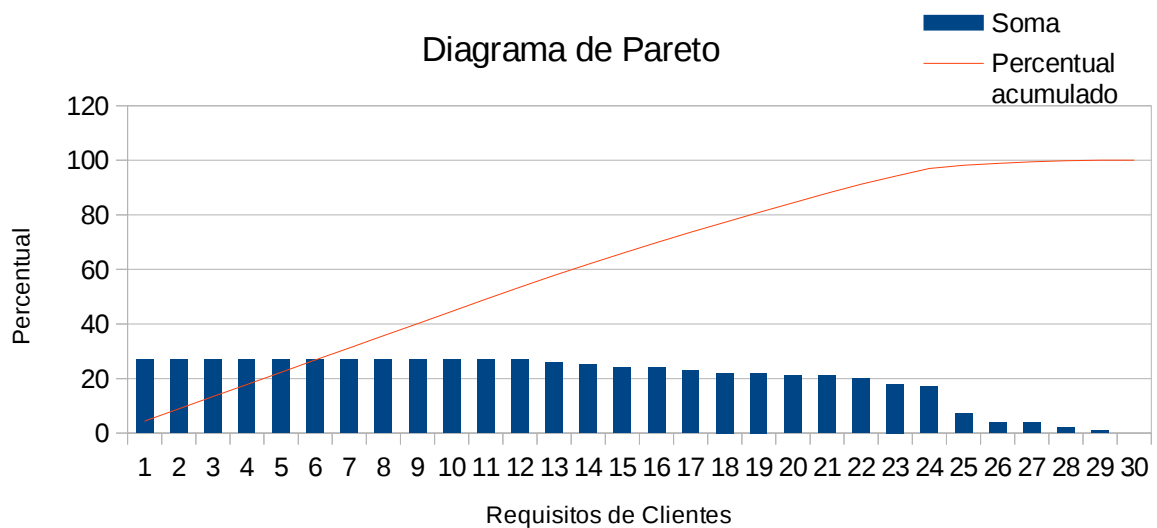


Figura 18: Diagrama de Pareto do sistema a ser dimensionado (Fonte: o próprio autor).

| Requisitos de Clientes | Nova numeração | Soma | Percentual acumulado |
|-------------------------------------------------------|----------------|------|----------------------|
| Bombear água | 1 | 27 | 4,46 |
| Controlar irrigação | 2 | 27 | 8,92 |
| Lavar roupa | 3 | 27 | 13,38 |
| Gerar vento | 4 | 27 | 17,84 |
| Ter iluminação | 5 | 27 | 22,3 |
| Ter entretenimento/comunicação | 6 | 27 | 26,76 |
| Preparar alimentos | 7 | 27 | 31,22 |
| Chocar ovos | 8 | 27 | 35,68 |
| Esquentar água | 9 | 27 | 40,14 |
| Conservar alimentos | 10 | 27 | 44,6 |
| Triturar alimentos | 11 | 27 | 49,06 |
| Passar roupa | 12 | 27 | 53,52 |
| Instalar equipamentos em locais adequados | 13 | 26 | 57,81 |
| Dimensionar equipamentos corretamente | 14 | 25 | 61,94 |
| Escolher tecnologias mais adequadas à realidade local | 15 | 24 | 65,9 |
| Fornecer capacitação em montagem e instalação | 16 | 24 | 69,86 |
| Capacitar usuário na operação do sistema | 17 | 23 | 73,66 |
| Envolver participação do usuário | 18 | 22 | 77,29 |
| Apresentar baixa taxa de falhas | 19 | 22 | 80,93 |
| Usar equipamentos fáceis de achar na região | 20 | 21 | 84,41 |
| Cumprir lei de resíduos sólidos | 21 | 21 | 87,89 |
| Ter baixo custo de operação e manutenção | 22 | 20 | 91,2 |
| Provocar baixo impacto ambiental | 23 | 18 | 94,18 |
| Ter baixo custo de investimento | 24 | 17 | 96,99 |
| Prever aumento de carga no dimensionamento | 25 | 7 | 98,15 |
| Ser modular | 26 | 4 | 98,82 |
| Ter operação intuitiva | 27 | 4 | 99,49 |
| Ser de fácil descarte | 28 | 2 | 99,83 |
| Possuir montagem e instalação intuitivas | 29 | 1 | 100 |
| Apresentar baixa complexidade de projeto | 30 | 0 | 100 |

Tabela 4: Nova numeração dos requisitos de cliente (Fonte: o próprio autor).

Finalmente, os requisitos de clientes foram transformados em requisitos de sistema pelo autor conforme mostrado na Tabela 5.

| Nova numeração | Requisitos de Clientes | Requisitos do Sistema |
|----------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1 | Bombear água | Vazão da água para uso humano |
| 2 | Controlar irrigação | Vazão da água para irrigação |
| 3 | Lavar roupa | Peso das roupas lavadas |
| 4 | Gerar vento | Vazão de ar |
| 5 | Ter iluminação | Quantidade de luz |
| 6 | Ter entretenimento/comunicação | Quantidade de elementos de entretenimento/comunicação |
| 7 | Preparar de alimentos | Energia para cozinhar |
| 8 | Chocar ovos | Energia para chocar ovos |
| 9 | Esquentar água | Energia para esquentar água do chuveiro |
| 10 | Conservar alimentos | Energia para refrigerar alimentos |
| 11 | Triturar alimentos | Energia para triturar alimentos |
| 12 | Passar roupa | Energia para passar roupa |
| 13 | Instalar equipamentos em locais adequados | Quantidade de equipamentos em locais inadequados |
| 14 | Dimensionar equipamentos corretamente | Quantidade de equipamentos dimensionados incorretamente |
| 15 | Escolher tecnologias mais adequadas à realidade local | Potencial de geração no sítio |
| 16 | Fornecer capacitação em montagem e instalação | Horas de capacitação em montagem e instalação |
| 17 | Capacitar usuário na operação do sistema | Horas de capacitação em operação |
| 18 | Envolver participação do usuário | Participação do usuário |
| 19 | Apresentar baixa taxa de falhas | Taxa de falhas dos equipamentos |
| 20 | Usar equipamentos fáceis de achar na região | Disponibilidade de equipamentos na região |
| 21 | Cumprir lei de resíduos sólidos | Taxa de equipamentos descartados conforme legislação |
| 22 | Ter baixo custo de operação e manutenção | Custo de operação e manutenção |
| 23 | Provocar baixo impacto ambiental | Emissão de CO2 |
| 24 | Ter baixo custo de investimento | Custo de investimento |

Tabela 5: Requisitos de cliente transformados em requisitos de sistema (Fonte: o próprio autor).

3.4 DIAGRAMA DE KANO

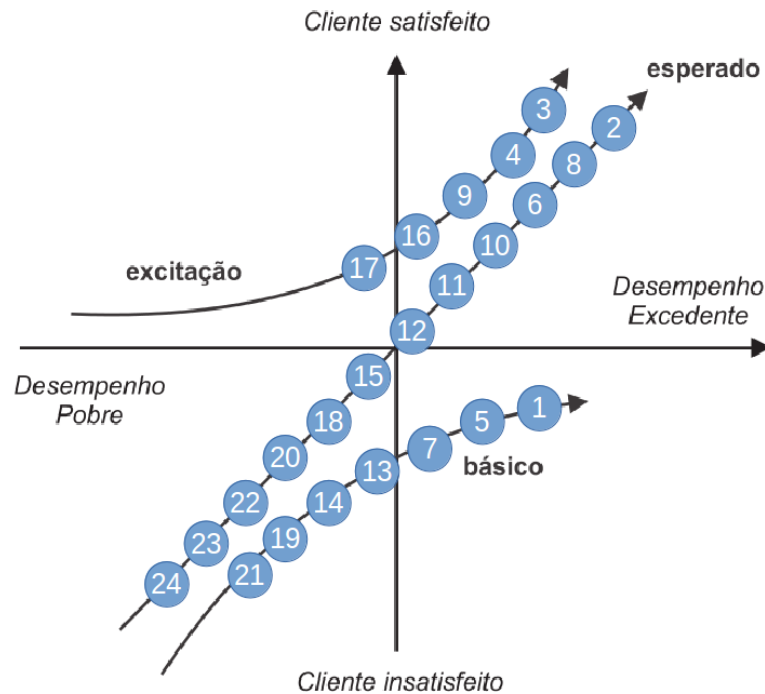


Figura 19: Diagrama de Kano do sistema a ser dimensionado (Fonte: o próprio autor).

O diagrama de Kano do sistema apresenta uma representação gráfica dos requisitos que são básicos, de desempenho esperado e de excitação de acordo com a percepção do projetista. Os números presentes no diagrama estão de acordo com a nova numeração proposta na Tabela 5.

3.5 QFD

A Figura 20 mostra a Matriz Casa da Qualidade do sistema de geração de energia alvo deste trabalho.

[illegible]

“Horas de capacitação em operação”; “Taxa de falhas dos equipamentos”; “Custo de operação e manutenção” e “Custo de investimento”. Portanto, deve ser dada uma maior atenção a esses requisitos.

O benchmarking de mercado comparou algumas tecnologias disponíveis no mercado com o sistema a ser dimensionado para analisar como essas tecnologias cumprem os requisitos de clientes. Para isso, foi atribuída uma nota de 0 a 5 para cada tecnologia, em que 0 significa que a tecnologia não consegue cumprir esse requisito e 5 que a tecnologia cumpre o requisito da melhor forma. O sistema completo será composto por subsistemas que utilizarão uma ou mais das tecnologias analisadas no benchmarking de mercado, por isso, a partir das notas atribuídas a cada tecnologia pode-se criar a Tabela 6, que mostra quais tecnologias apresentaram melhor desempenho para atender cada sub-sistema, em que “CC” significa eletricidade em corrente contínua e “CA” eletricidade em corrente alternada. Algumas tecnologias apresentaram desempenho parecido para um mesmo subsistema e serão analisadas entre si nas próximas seções.

| Sub-sistema | Tecnologia | | |
|----------------------------|-------------|---------------|-------------|
| | CC | CA | Roda d'água |
| Bombear água | Gravidade | | |
| Controlar irrigação | | | |
| Lavar roupa | CA | Força humana | |
| Gerar vento | CC | CA | |
| Iluminação | CC | CA | |
| Entretenimento/comunicação | CC | CA | |
| Preparo de alimentos | Combustível | Solar térmico | |
| Chocar ovos | CA | Solar térmico | |
| Esquentar água | CA | Solar térmico | |
| Conservar alimentos | CC | CA | |
| Triturar alimentos | CC | CA | |
| Passar roupa | CC | CA | |

Tabela 6: Sub-sistemas e alternativas tecnológicas (Fonte: o próprio autor).

O índice de melhoria do QFD apresenta o quanto o sistema desenvolvido irá melhorar o atendimento a um dado requisito em comparação com as outras opções tecnológicas. Já o argumento de vendas está relacionado com o diagrama de Kano

conforme a legenda, em que “O” representa um requisito óbvio, “L” um requisito linear e “E” representa um requisito de excitação.

O diagrama de Mudge também foi incorporado na análise, os requisitos de clientes foram classificados numa escala de 1 a 5 de acordo com a soma que obtiveram no diagrama de Mudge. O índice de melhoria, o argumento de vendas e o diagrama de Mudge são usados para compor os pesos absoluto e relativo de cada requisito de cliente.

No centro da Casa da Qualidade, os requisitos de cliente e de sistema foram relacionados conforme a legenda e chegou-se ao grau de importância de cada requisito de sistema, que também leva em conta os pesos de cada requisito de cliente. Mais uma vez se nota uma forte presença dos sete requisitos que foram destacados também no telhado do QFD.

3.6 ESPECIFICAÇÕES META

Nesta seção, será descrito o raciocínio utilizado para se chegar às especificações meta e saídas indesejadas que estão resumidas na Tabela 9, ao final da seção.

A moradora do sítio Veredão utiliza uma caixa d'água de 500 litros para armazenar água para consumo próprio. De acordo com a mesma, a bomba d'água é acionada normalmente por volta de três vezes por semana, mas quando recebe visitas, a bomba chega a ser acionada até duas vezes por dia. Pensando no pior caso, a demanda de água é de 1000 litros por dia, o que resulta numa vazão de aproximadamente 42 litros por hora para uso humano. Uma vazão menor do que 8,33 L/h seria indesejável, pois seria insuficiente até mesmo se somente Dona Leia estivesse na casa.

De acordo com Conrado et al. (2011), 0,4 hectares de hortaliças consomem aproximadamente 445 m³ de água por mês e produzem cerca de 57 kg de hortaliças por dia. Além disso, Mondini et al. (2009) afirma que o consumo recomendado de hortaliças é de 400 gramas por dia por pessoa, o que demandaria uma área de 0,0028 ha e uma vazão mínima de 4,33 litros por hora. Considerando incertezas no cálculo, coloca-se como valor meta 5 L/h de vazão de água para irrigação da horta.

A partir das entrevistas nas comunidades já eletrificadas, percebeu-se que uma família com quatro pessoas economicamente ativas, utiliza uma lavadora de roupas com capacidade de 6 kg cerca de cinco vezes por semana, em que a máquina nem sempre está cheia, o que dá uma média de 7,5 kg de roupa lavada por pessoa por semana. É de se esperar que uma pessoa aposentada terá metade da média de uma pessoa economicamente ativa, resultando em 3,75 kg de roupa lavada por semana. Por isso, utiliza-se 4 kg/semana como especificação meta e 3 kg/semana como um valor mínimo a ser tolerado.

Baseado em valores publicados pelo Inmetro, os ventiladores mais eficientes disponíveis no mercado brasileiro apresentam pelo menos 0,5 m³/s de vazão de ar na velocidade mais alta. Assim, esse valor é colocado como especificação meta.

De acordo com as áreas dos cômodos da casa da Sra. Leia, mostrados na Figura 21 e com a norma técnica NBR 5413 da ABNT, serão necessários 28498 lumens para suprir a demanda de iluminação da casa. Os valores utilizados nos cálculos estão exibidos na Tabela 7.

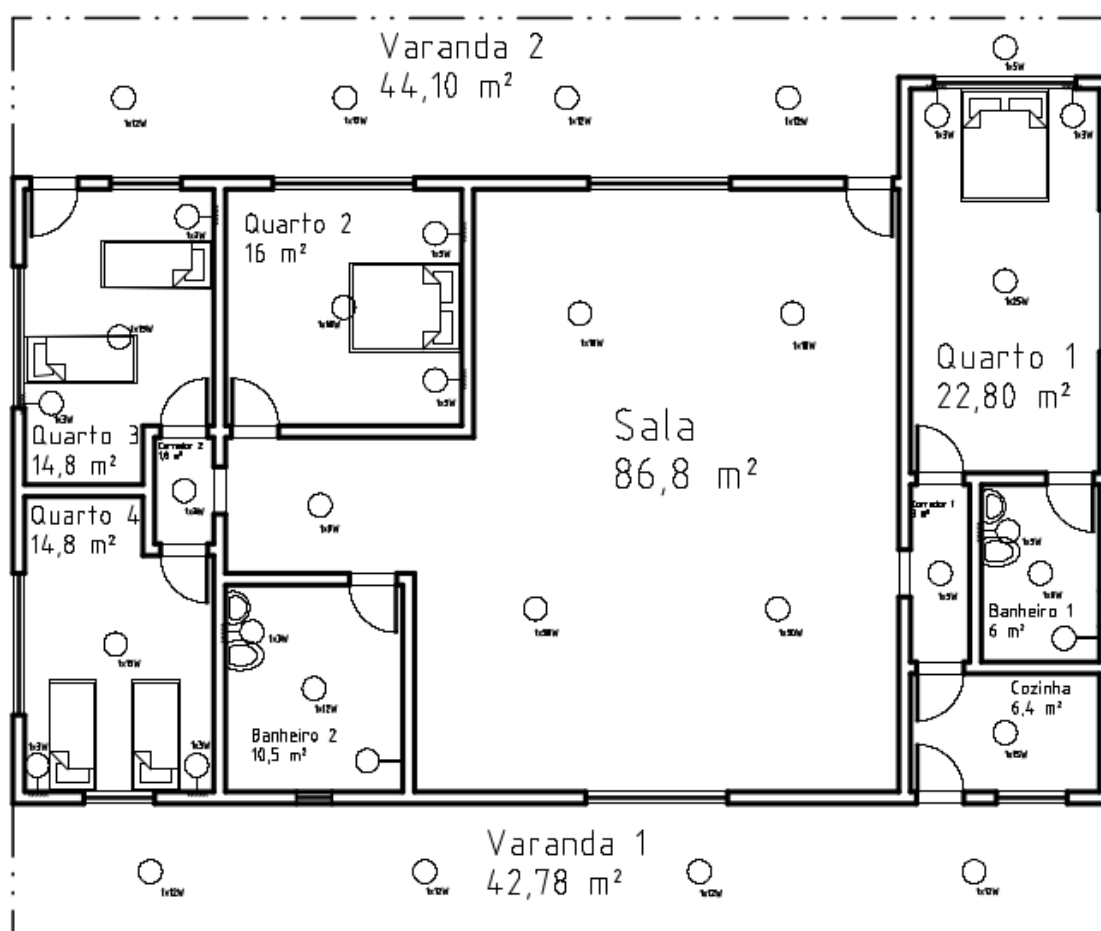


Figura 21: Planta baixa da casa de Leia Van Den Beusch (Fonte: o próprio autor).

| Cômodo | Área | Lux | Lumens | Lâmpadas |
|-------------------|---------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| Varanda 1 | 42,78 | 100 | 4278 | 4x12 W |
| Varanda 2 | 44,1 | 100 | 4410 | 4x12 W + 1x5 W |
| Cozinha | 6,4 | 200 | 1280 | 1x15 W |
| Banheiro 1 | 6 | 200 (espelho) e 100 | 700 | 1x3 W + 1x6 W |
| Banheiro 2 | 10,5 | 200 (espelho) e 100 | 1150 | 1x3 W + 1x12 W |
| Corredor 1 | 3 | 75 | 225 | 1x3 W |
| Corredor 2 | 1,8 | 75 | 135 | 1x3 W |
| Quarto 1 | 22,8 | 200 (leitura) e 100 | 2480 | 2x3 W + 1x25 W |
| Quarto 2 | 16 | 200 (leitura) e 100 | 1800 | 2x3 W + 1x18 W |
| Quarto 3 | 14,8 | 200 (leitura) e 100 | 1680 | 2x3 W + 1x15 W |
| Quarto 4 | 14,8 | 200 (leitura) e 100 | 1680 | 2x3 W + 1x15 W |
| Sala | 86,8 | 100 | 8680 | 2x30 W + 2x18 W + 1x9 W |
| Total | 269,78 | | 28498 | 348 W |

Tabela 7: Área dos cômodos, lux recomendados pela NBR 5413, lumens resultantes e potências e quantidade de lâmpadas necessárias (Fonte: o próprio autor).

Segundo a entrevista, Dona Leia destacou apenas internet e rádio como opções de entretenimento e comunicação que gostaria de ter, televisão não é uma prioridade, apesar de a observação de famílias já eletrificadas demonstrar que normalmente eles adquirem outros equipamentos, principalmente televisão, coloca-se 2 equipamentos como especificação meta para esse requisito.

Para cozinhar, Dona Leia afirmou que utiliza um botijão de gás de cozinha a cada 3 meses. Como cada botijão possui 13 kg e o GLP (gás liquefeito de petróleo, combustível do botijão de cozinha) possui 46,6 MJ/kg de poder calorífico (ARAUTERM, 2016), resultando em 605,8 MJ/botijão, pode-se concluir que a demanda de energia do sítio para cozinhar é de cerca de 202 MJ/mês.

Segundo a moradora do sítio, a mesma gostaria de adquirir uma chocadeira pequena. As menores chocadeiras encontradas no mercado brasileiro geralmente utilizam uma lâmpada incandescente de 15 W (MERCADO LIVRE, 2016) que consome cerca de 10 kWh/mês.

De acordo com dados do PROCEL INFO (2016), CEMIG (2014) e CELPE (2016), um chuveiro consome 70 kWh/mês, uma geladeira 25 kWh/mês, um liquidificador 0,8 kWh/mês e um ferro de passar roupa 2,4 kWh/mês. Esses serão os valores meta para os requisitos de energia necessária para esquentar água, refrigerar alimentos, triturar alimentos e passar roupa, respectivamente.

Como especificação meta, nenhum equipamento deve ser instalado em local inadequado ou dimensionado incorretamente e espera-se que todos os equipamentos sejam descartados conforme a legislação.

O local do sítio deve gerar toda demanda de energia do mesmo. Para quantificar isso, supõem-se que toda a demanda será suprida com energia elétrica e calcula-se qual o consumo desses equipamentos baseado nas tabelas de consumo de PROCEL INFO (2016), CEMIG (2014) e CELPE (2016) e mostrados na Tabela 8. Portanto, o sítio deve ter potencial para gerar 234,29 kWh/mês, considerando que 1 MJ = 0,28 kWh para cálculo da energia demandada pelo fogão em kWh.

| Equipamentos | Consumo (kWh/mês) |
|----------------------|--------------------------|
| Motobomba | 5,02 |
| Irigador | 2,00 |
| Aparelho de som | 2,40 |
| Televisão | 6,00 |
| Roteador de internet | 1,44 |
| Tanquinho | 0,84 |
| Conversor de TV | 14,40 |
| Chuveiro Elétrico | 70,00 |
| Ventilador | 9,60 |
| Liquidificador | 0,80 |
| Notebook | 7,20 |
| Geladeira | 25,20 |
| Lâmpadas | 20,88 |
| Chocadeira | 10,00 |
| Fogão | 56,11 |
| Ferro de passar | 2,40 |
| Total | 234,29 |

Tabela 8: Consumo se todos equipamentos fossem ligados em energia elétrica (Fonte: o próprio autor).

Baseado em cursos de capacitação e instalação de energia solar encontrados no mercado (LGL SOLAR TREINAMENTOS, 2016; ELEKTSOLAR INNOVATIONS, 2016; BLACK SHEEP, 2016), o número mínimo de horas de capacitação em montagem e instalação do sistema deve ser de 16 horas para cada tecnologia diferente a ser implementada no sítio. Não foram encontradas informações sobre cursos de operação desse tipo de sistema, por isso, estima-se

que cada capacitação em operação deve ter metade da carga horária da capacitação em montagem e instalação, já que essa é uma atividade menos complicada.

Conforme destacado na seção 3.2.1 deste trabalho, o usuário deve participar do projeto para que este seja sustentável, pensando nisso, estipula-se que essa participação deva ser em, pelo menos, metade do projeto.

De acordo com dados da ANEEL (2016), a taxa de falhas da rede elétrica na região de Correntina é de 0,97%. Logo, o sistema dimensionado deve apresentar uma taxa de falha menor do que essa.

Não foi possível encontrar dados de disponibilidade de equipamentos específicos para a região de Correntina, por isso, será considerado a disponibilidade do Brasil como um todo e serão feitas suposições para regiões menos acessíveis. Assim, estima-se uma disponibilidade de 80% dos equipamentos na região.

O custo de energia na rede convencional pode chegar a 221,48 R\$/MWh, já o custo de manutenção da rede pode chegar a 760,00 R\$/km.ano (BRITO; CASTRO, 2007; CEZAR, 2009; FINK, 2013 e VELASCO; LIMA; COUTO, 2006). Se toda a energia do sítio fosse suprida pela rede convencional, o custo total poderia chegar a 1.252,55 R\$/ano. Por isso o custo de manutenção não deve ultrapassar 1.300,00 R\$/ano.

Considerando a taxa de emissão de CO₂ do GLP, que é de 2,93 kgCO₂/kg (PARANÁ, 2009) e o consumo de botijão de gás do sítio, o valor meta da emissão anual de CO₂ deve ser de 0,15 tCO₂/ano, considerando que as outras tecnologias de geração serão renováveis e que a taxa de emissão não será aumentada.

O custo de implementação de uma rede elétrica pode chegar a 54.188,39 R\$/km (BRITO; CASTRO, 2007; CEZAR, 2009; FINK, 2013 e VELASCO; LIMA; COUTO, 2006), como o sítio se encontra a 800 metros da rede mais próxima, conforme pode ser visto na Figura 22, o custo de investimento para ampliar a rede até o sítio pode chegar a R\$ 43.350,71.

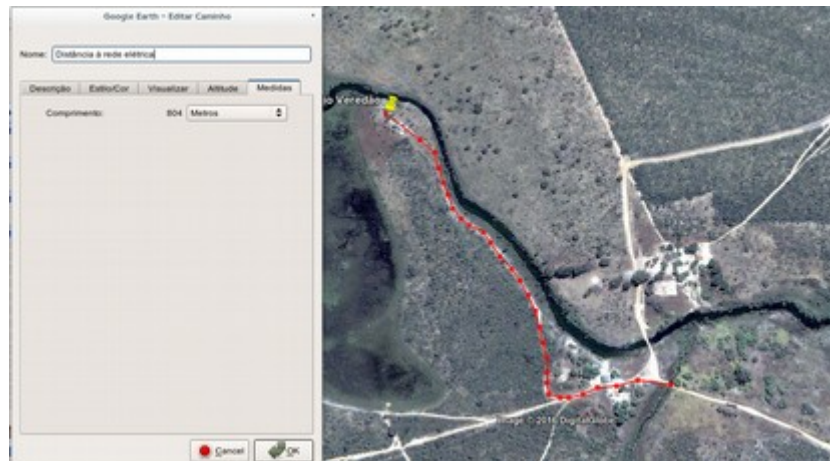


Figura 22: Distância do sítio à rede elétrica (Fonte: GOOGLE, 2015).

Finalmente foi possível chegar às especificações meta do sistema, conforme mostrado na Tabela 9. A “Observação” foi colocada como sensor para medir o “Peso das roupas lavadas” e “Energia para cozinhar” pois não será necessário medir essas variáveis com precisão, só é preciso observar se as roupas estão sendo lavadas e se os alimentos estão sendo preparados.

| Requisitos de Produto | Unidade | Plano (valor meta) | Sensor | Saída indesejada |
|---------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|------------------|
| Vazão da água para uso humano | L/h | 42 | Medidor de vazão | <8,33 |
| Vazão da água para irrigação | L/h | 5 | Medidor de vazão | <4,33 |
| Peso de roupas lavadas | kg/semana | 4 | Observação | <3 |
| Vazão de ar | m³/s | 0,5 | Especificação do ventilador | <0,5 |
| Quantidade de luz | Lumens | 29498 | Especificação da lâmpada | <28498 |
| Quantidade de elementos de entretenimento/comunicação | Unidade | 2 | Observação | <2 |
| Energia para cozinhar | MJ/mês | 202 | Observação | <202 |
| Energia para chocar ovos | kWh/mês | 10 | Relógio medidor de energia | <10 |
| Energia para esquentar água do chuveiro | kWh/mês | 70 | Relógio medidor de energia | <70 |
| Energia para refrigerar alimentos | kWh/mês | 25 | Relógio medidor de energia | <25 |
| Energia para triturar alimentos | kWh/mês | 0,8 | Relógio medidor de energia | <0,8 |
| Energia para passar roupa | kWh/mês | 2,4 | Relógio medidor de energia | <2,4 |
| Quantidade de equipamentos em locais inadequados | Unidade | 0 | Observação | >0 |
| Quantidade de equipamentos dimensionados incorretamente | Unidade | 0 | Observação | >0 |
| Potencial de geração no sítio | kWh/mês | 234,29 | Cálculo do projetista | <234,29 |
| Horas de capacitação em montagem e instalação | Hora/tecnologia | 16 | Observação | <16 |
| Horas de capacitação em operação | Hora/tecnologia | 8 | Observação | <8 |
| Participação do usuário | % | 50 | Observação | <50 |
| Taxa de falhas dos equipamentos | % | 0,97 | Observação | >0,97 |
| Disponibilidade de equipamentos na região | % | 80 | Observação | <80 |
| Taxa de equipamentos descartados conforme legislação | % | 100 | Observação | <100 |
| Custo de operação e manutenção | R\$/ano | 1300 | Cálculo do projetista | >1300 |
| Emissão de CO2 | tCO2/ano | 0,15 | Cálculo do projetista | >0,15 |
| Custo de investimento | R\$/ano | 43350 | Cálculo do projetista | >43350 |

Tabela 9: Especificações meta e saídas indesejadas do sistema a ser dimensionado (Fonte: o próprio autor).

4 TECNOLOGIAS

Nesta seção será falado sobre as tecnologias consideradas na análise desse trabalho, que são as mesmas destacadas na Tabela 6 como melhor analisadas no benchmarking de mercado do QFD. Elas estão divididas em elétricas e não-elétricas. A lavagem de roupa por força humana não foi realçada nessa seção por ser uma técnica muito simples e muito conhecida pelo público, da mesma forma que o preparo de alimentos por queima de combustível.

4.1 NÃO ELÉTRICAS

Esta parte descreverá as seguintes tecnologias: bombeamento por roda d'água, irrigação por gravidade, chuveiro solar, chocadeira solar e forno solar.

4.1.1 Bombeamento por Roda d'Água

A roda d'água foi inventada pelos egípcios e, ao longo da história, foi utilizada para muitas finalidades, principalmente moer grãos, bombeamento de água e geração de energia elétrica. O princípio de funcionamento baseia-se na utilização da força potencial gravitacional da água para movimentar uma roda, transformando energia hidráulica em energia mecânica. O acionamento pode se dar com a água caindo sobre a roda ou passando por baixo da mesma, essa última usando canaletas ou flutuadores para manter a roda acima da água. A roda d'água também pode ser complementada com um reservatório para aumentar a pressão da água sobre a roda.



Figura 23: Roda d'água acoplada a bomba de pistão (Fonte: GRAH, 2013).

Dentre as vantagens da utilização da roda d'água, destacam-se: possibilidade de ser instalada em local com pequeno desnível, fácil construção e conservação, água para funcionamento pode ser suja e baixo custo. Porém, ela apresenta a desvantagem de alcançar pequenas velocidades e potências.

Geralmente utiliza-se a roda d'água para acionamento de bomba de pistão ou como bomba espiral para o bombeamento de água. As bombas de pistão funcionam através da sucção do fluido num sentido e expulsão no outro. Já a bomba espiral consiste de um tubo flexível enrolado em espiral ao redor do eixo de rotação da roda d'água, que fica parcialmente submersa, com o movimento rotacional, partes alternadas de água e ar entram no tubo e a água pode ser impulsionada a pequenas distâncias.

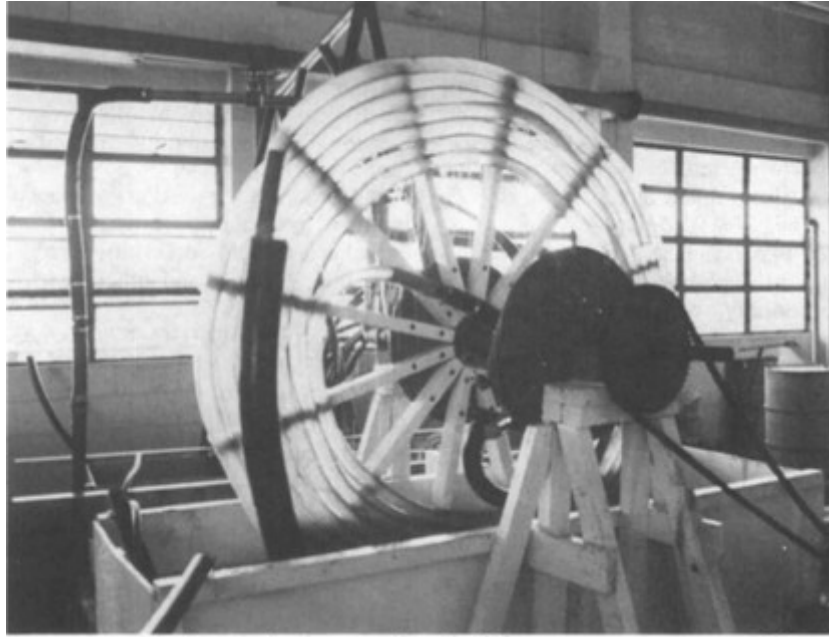


Figura 24: Bomba espiral em laboratório (Fonte:NAEGEL, 1991).

4.1.2 Irrigação por Gravidade

A irrigação por gravidade geralmente consiste de um balde ou tambor de água colocado acima do solo de modo a permitir o escoamento controlado da água através de gotejamento por tubos que podem ficar dispostos por baixo da terra ou acima do solo.

O sistema por gotejamento é um dos métodos mais eficientes que existe, pois a água pinga diretamente no solo, prevenindo contra perdas devido a evaporação e percolação. Estudos apontam uma eficiência de 90% nesses sistemas, enquanto sistemas convencionais possuem eficiência de 75% (SMITH, 2009).



Figura 25: Irrigação por gravidade utilizando balde (Fonte: SMEAL, 2007).

Vantagens da irrigação por gravidade: economia de água e de trabalho, menos problemas com pragas, baixo custo, simplicidade e adaptabilidade. Desvantagens: fragilidade, menor flexibilidade, maior possibilidade de entrada de ar na tubulação e atração de pernilongos (NGIGI, 2000).

4.1.3 Chuveiro Solar

O tipo de aquecimento solar para chuveiro mais difundido no Brasil é o coletor fechado com Boiler elétrico e circulação por termossifão, em que a água circula graças à diferença de temperatura que existe no fluido em diferentes partes do sistema. A água é aquecida nos coletores e retorna para o reservatório (Boiler) por meio do efeito de termossifão, onde fica armazenada até o consumo. Se a água não for suficientemente aquecida pelo coletor solar, o Boiler utiliza energia elétrica para aquecer a água até a temperatura desejada.

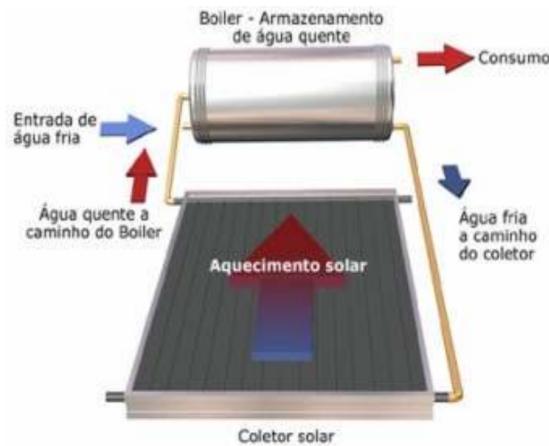


Figura 26: Aquecedor solar (Fonte: SIQUEIRA, 2009).

Por causa da necessidade de baratear os sistemas de aquecedores de água solar, que normalmente possuem um alto custo de investimento inicial, pesquisadores têm procurado desenvolver aquecedores solares de baixo custo (ASBC), que são construídos com materiais não convencionais, como forro de PVC e até mesmo reciclando materiais como garrafas PET e caixas TetraPak (BORTOLETTO; PEZZUTO, 2012; SIQUEIRA, 2009 e THOMAZ, 2014).



Figura 27: Dois tipos de ASBC: com garrafas PET à esquerda e com forro PVC à direita (Fonte: THOMAZ, 2014).

4.1.4 Chocadeira Solar

Desenvolvida por pesquisadores do Quênia, a chocadeira solar utiliza materiais de baixo custo como: vidro plano para coletar energia solar e concreto e

pedras de granito para armazenar energia térmica. Os materiais são pintados de preto para aumentar a eficiência térmica. Segundo os estudos, o desempenho do sistema com relação ao número de ovos chocados corretamente pode chegar a 70%, número próximo ao de chocadeiras convencionais elétricas e a gás (ADEWUMI; AYODELE; LAMEED, 2008; AHIABA; NWAKONOB; OBETTA, 2015, 2015; BOLAJI, 2008 e MBOKA; MAUNDU, 2012).



Figura 28: Chocadeira solar (Fonte: AHIABA; NWAKONOB; OBETTA, 2015).

4.1.5 Forno Solar

O forno solar é uma tecnologia de baixo custo e baixo impacto ambiental. Ele pode ser construído com materiais reciclados (por exemplo: isopor triturado, sucata de TV, etc.). Para um melhor funcionamento, é indicado utilizar o forno solar entre 9h e 14h, horário em que os raios solares atingem a superfície terrestre com mais intensidade. Geralmente são usados espelhos para refletir a luz solar. Pode ser construída uma espécie de mini-estufa para armazenar o calor, onde é colocado o alimento, facilitando o cozimento (RAMOS FILHO, 2011 e SOUZA et al., 2010).



Figura 29: Forno solar (Fonte: SOUZA et al., 2010).

4.2 ELÉTRICAS

A seguir será feita uma breve descrição das tecnologias consideradas para compor o sistema de geração de eletricidade em corrente alternada (turbina hidrocínética) e corrente contínua (painel fotovoltaico e aerogerador). Essas tecnologias foram escolhidas por apresentar bom potencial para geração no sítio e baixo impacto ambiental, já que são consideradas energias renováveis.

4.2.1 Turbina Hidrocínética

Em sistemas hidrelétricos convencionais, a água é canalizada através de poços e tubos para a geração de energia hidrelétrica, porém a turbina hidrocínética utiliza a energia cinética dos rios (ou mares), gerando energia elétrica sem a necessidade de criar lagos artificiais, o que constitui um avanço em termos de impactos ambientais. A energia hidrocínética é encontrada em todas massas de água que se movimentam, mas só é economicamente viável em altas velocidades (acima de 1 m/s).



Figura 30: Turbina hidrocinética (Fonte: IGUAÇU ENERGIA, 2016).

O primeiro caso bem-sucedido dessa tecnologia no Brasil foi desenvolvido pela UnB com fundos da FINATEC (Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos). Pesquisadores do LEA/UnB (Laboratório de Energia e Ambiente) testaram diversos arranjos que aproveitavam velocidades entre 1,5 e 2 m/s, com tamanho entre 0,8 e 2 metros de diâmetro. Essa turbina foi instalada pela UnB no sítio Veredão em 1995 e possibilitou o funcionamento de um posto médico na região, tendo inclusive ganhado um prêmio da FAP-DF (Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal). A primeira turbina instalada no sítio gerava entre 0,7 e 1 kW, já a segunda, movimentava um gerador AC de 2 kVA, 220 volts e 1800 rpm, gerando entre 1,7 e 2 kW de eletricidade, alimentando um refrigerador, um freezer, uma bomba d'água e iluminação. Além disso, o projeto introduziu inovações que aumentaram a eficiência da turbina como um sistema de controle que estabilizava a tensão e frequência da rede, que variam com a velocidade da água e com a carga, tornando possível o uso de eletrodomésticos.

A turbina hidrocinética requer manutenções preventivas de limpeza, que devem ser feitas na grade da turbina uma vez por semana por um operador treinado e o tempo de parada pode chegar a 4 horas. Além disso, tratamento anticorrosivo deve ser feito a cada dois anos.



Figura 31: Turbina Hidrocinética em funcionamento (Fonte: PANORAMIO, 2016).

4.2.2 Energia Fotovoltaica

A energia fotovoltaica consiste na conversão direta da energia eletromagnética presente na radiação solar em energia elétrica através das células fotovoltaicas. Sendo assim, qualquer variação na incidência solar afeta imediatamente a geração. Por isso, essa tecnologia possui uma grande necessidade de armazenar energia, que geralmente se dá na forma de baterias.



Figura 32: Pannel fotovoltaico em telhado (Fonte: CRESESB, 2016).

Para suprir cargas em corrente alternada com módulos fotovoltaicos é necessária a utilização de inversores de frequência. Por outro lado, a tecnologia fotovoltaica se destaca pela possibilidade de alimentar cargas em corrente contínua diretamente, sem a necessidade de dispositivos eletrônicos inversores. Além disso,

o uso de energia elétrica em corrente contínua facilita o armazenamento em baterias.

4.2.3 Energia Eólica

A energia eólica possui um princípio de funcionamento parecido com a turbina hidrocínética, mas ao invés da água, o fluido usado para movimentar a turbina, também chamada de aerogerador, é o ar. No mercado brasileiro já existem pequenos aerogeradores para uso em geração distribuída, que geram energia com características parecidas com os módulos fotovoltaicos, gerando energia em corrente contínua.



Figura 33: Aerogerador (Fonte: ISTABREEZE DO BRASIL, 2016).

5 ANÁLISE E ESCOLHA DAS TECNOLOGIAS A SEREM USADAS

Esta seção mostrará o processo de escolha das tecnologias que serão utilizadas no sistema de geração. Essa escolha será feita analisando os custos de cada uma das possibilidades mostradas na Tabela 6, uma vez que já foi demonstrado que estas alternativas atendem bem aos usos finais de energia demandados pelo sítio.

O sistema de irrigação por gravidade não será analisado nessa seção, pois essa tecnologia já foi avaliada como a melhor para atender a esse requisito.

Apesar do bom desempenho no benchmarking competitivo, a opção “Força humana” não será considerada para o subsistema de lavar roupa pois é uma tarefa muito árdua, especialmente para uma pessoa mais velha, por isso, esse subsistema será suprido com eletricidade em corrente alternada (CA) através da turbina hidrocínética. Além disso, os subsistemas “Gerar vento”, “Conservar alimentos”, “Triturar alimentos” e “Passar roupa” também serão escolhidos para serem supridos por energia elétrica em CA, pois as altas potências requeridas por equipamentos que desempenham essas funções poderiam encarecer demais um sistema em corrente contínua (CC) além de que equipamentos desse tipo alimentados por CC são difíceis de achar ou não existem no mercado brasileiro.

Portanto, nessa seção serão analisadas as seguintes tecnologias quanto a seus custos: bombeamento por roda d'água, forno solar, chocadeira solar, chuveiro solar, turbina hidrocínética, energia solar fotovoltaica e turbina eólica. Será feito um levantamento de custos no mercado e em estudos já feitos sobre esses sistemas, dando uma atenção maior aos sistemas de geração de eletricidade, onde será analisado também como os equipamentos que podem ser ligados por cada tecnologia influenciam no custo.

5.1 ANÁLISES

5.1.1 Bombeamento por roda d'água

Os sistemas de bombeamento por roda d'água apresentam valores muito variados na literatura. Sistemas comerciais apresentam custos em torno de R\$ 3.320,00 (GRAH, 2013). Já em sistemas artesanais construídos no Brasil, foram

relatados preços variando de R\$ 70,00 (SANTOS, 2011) a R\$ 500,00 (SOUZA; SOUZA, 2006). Um sistema artesanal construído nas Filipinas apresentou custo de 14.000 pesos filipinos (R\$ 924,15, NAEGEL; REAL; MAZAREDO, 1991) enquanto um sistema construído nos EUA apresentou custo de U\$ 3.000,00 (R\$ 9.828,00, THOMPSON et al., 2006).

5.1.2 Forno solar

Fornos solares construídos no Brasil apresentaram valores entre R\$ 100,00 e R\$ 300,00 (RAMOS FILHO, 2011 e SOUZA et al., 2010). É possível fazer uma comparação com o custo de um forno convencional que utiliza GLP (gás liquefeito de petróleo) como combustível. Foi relatado o uso de quatro botijões de gás por ano no sítio e um botijão custa em torno de R\$ 60,00 (CORREIO, 2016), portanto, a utilização do forno convencional custa, em média, R\$ 240,00 por ano.

5.1.3 Chocadeira Solar

De acordo com estudo realizado, uma chocadeira solar construída no Quênia possui um custo de 17.000 KES (R\$ 545,47; MBOKA; MAUNDU, 2012). Já uma chocadeira elétrica pequena (capacidade de 30 ovos) pode custar entre R\$ 200,00 e R\$ 400,00 (MERCADO LIVRE, 2016).

5.1.4 Chuveiro Solar

Um aquecedor de água para chuveiro comercial custa em torno de R\$ 3.700,00 (FUNDESPA, 2009 e MONTU, 2016). Já o aquecedor solar de baixo custo foi relatado custar entre R\$ 200,00 e R\$ 600,00 (SIQUEIRA, 2009 e THOMAZ, 2014).

5.1.5 Turbina Hidrocinética (CA)

Segundo Els, Campos e Salomon (2005), uma turbina hidrocinética de 1,8 kW custa em torno de R\$ 15.000,00 em Brasília, incluindo gerador elétrico, sistema eletrônico de controle e infraestrutura de fixação. O cálculo para outras potências pode ser feito assumindo que o custo será proporcional à potência da turbina. Para um dimensionamento preliminar da turbina hidrocinética é necessário levar em conta a potência da maior carga que será alimentada pela mesma. A tabela 10 mostra a potência de cada aparelho elétrico que poderá ser ligado no sítio Veredão

acompanhado do preço de uma turbina que poderia alimentar cada equipamento assim como o preço da turbina que alimentaria a soma das potências dos equipamentos.

| Equipamentos | Potência (W) | Preço (R\$) |
|----------------------|---------------------|--------------------|
| Motobomba | 300,00 | 2.500,00 |
| Aparelho de som | 10,00 | 83,33 |
| Televisão | 40,00 | 333,33 |
| Conversor de TV | 30,00 | 250,00 |
| Roteador de internet | 10,00 | 83,33 |
| Notebook | 65,00 | 541,67 |
| Tanquinho | 350,00 | 2.916,67 |
| Chuveiro Elétrico | 3.000,00 | 25.000,00 |
| Ventilador | 45,00 | 375,00 |
| Liquidificador | 100,00 | 833,33 |
| Geladeira | 500,00 | 4.166,67 |
| Lâmpadas | 348,00 | 2.900,00 |
| Chocadeira | 15,00 | 125,00 |
| Ferro de passar | 1.000,00 | 8.333,33 |
| Total | 5.813,00 | 48.441,67 |

Tabela 10: Potência e preços da turbina hidrocinética (Fonte: o próprio autor).

A turbina não precisa ser dimensionada para a soma de todas as cargas, apenas para as maiores cargas que têm possibilidade de estarem ligadas ao mesmo tempo, que são: chuveiro, geladeira e lâmpadas, resultando em uma carga de 3.848 W, que custaria R\$ 32.066,67. O chuveiro elétrico representa uma potência muito mais alta do que as outras, além de não ter sido verbalizado como prioridade para a moradora do sítio, por isso, se o chuveiro elétrico for excluído da análise, as maiores cargas ficam sendo: ferro de passar, geladeira e lâmpadas, resultando em 1.848 W e um custo de R\$ 15.400,00.

5.1.6 Aerogerador

Apesar da possibilidade da conversão da corrente contínua produzida pelos aerogeradores e placas fotovoltaicas em corrente alternada, esse trabalho focará somente no atendimento a cargas em CC (corrente contínua) por essas tecnologias, já que a adição do inversor pode encarecer e trazer complexidade ao sistema. Além

disso, como a turbina hidrocínética pode fornecer energia elétrica em corrente alternada, não será preciso converter a energia contínua.

Na análise tanto do sistema eólico quanto do sistema solar fotovoltaico serão consideradas as cargas que podem ser ligadas diretamente em CC: aparelho de som, sistema de televisão (televisão + conversor de TV), sistema de internet (roteador de internet + notebook) e lâmpadas de LED. Apesar de existirem geladeiras e chocadeiras que funcionam em corrente contínua, esses equipamentos são muito mais caros e/ou difíceis de se encontrar no mercado brasileiro.

Para a análise do custo da energia eólica, será feita uma pesquisa dos aerogeradores disponíveis no mercado e será calculado o potencial de geração desses aerogeradores na região do sítio.

Os aerogeradores mais facilmente encontrados no mercado brasileiro são os da marca IstaBreeze. A marca possui quatro modelos adequados para geração distribuída: i-500, L-500, L-1000 e L-1500. Segundo dados publicados pela empresa, o modelo i-500 apresenta uma saída de 25 W quando o vento está a 4,5 m/s (ISTABREEZE, 2016). A potência máxima teórica que pode ser extraída do aerogerador i-500, que possui pás de 50 cm, na presença de ventos a 4,5 m/s e com uma densidade do ar de 1,2928 kg/m³, pode ser calculada através da equação (1):

$$P(kW) = \frac{k_b \cdot \rho \cdot A \cdot v^3}{2} = \frac{0,59 \cdot 1,2928 [kg/m^3] \cdot 0,78 [m^2] \cdot (4,5 [m/s])^3}{2} = 27,29 [kW] \quad (1)$$

Em que A é a área da seção reta ocupada pela turbina, k_b é o coeficiente de Betz, ρ a densidade e v a velocidade do vento. A partir disso, pode-se fazer uma relação entre a potência máxima teórica e a potência informada pelo fabricante:

$$\frac{P_{real}}{P_{max}} = \frac{25}{27,29} = 0,92 \quad (2)$$

Utilizando a relação encontrada na equação (2) como um fator de correção do máximo teórico para um valor mais real e usando a velocidade de 4 m/s (média anual de ventos na região) e densidade do ar de 1,08 kg/m³ (densidade do ar na região, segundo BAHIA, 2013), chega-se aos valores de energia encontrados na

Tabela 11, que também mostra o preço de cada turbina. A energia foi calculada segundo a equação (3), em que 720 representa o número de horas em um mês.

$$E[kWh/mês] = P_{max} \cdot 720 \cdot 0,92 \quad (3)$$

| Turbina | Raio da hélice (cm) | Energia (kWh/mês) | Preço (R\$) | Equipamentos que podem ser ligados |
|---------|---------------------|-------------------|-------------|--------------------------------------------|
| i-500 | 50,00 | 10,56 | 1.500,00 | Internet |
| L-500 | 55,00 | 12,78 | 1.400,00 | Internet + som |
| L-1000 | 100,00 | 42,24 | 3.150,00 | Internet + som + TV ou |
| L-15000 | 107,00 | 48,36 | 3.700,00 | TV + lâmpadas ou Internet + som + lâmpadas |

Tabela 11: Potencial de geração eólica (Fonte: o próprio autor).

5.1.7 Energia solar fotovoltaica

Para o cálculo dos custos da energia fotovoltaica considera-se várias possibilidades de cargas CC (corrente contínua) que os módulos poderiam ligar. Para demonstrar, será feito o cálculo do preço do sistema para atender todas as cargas que podem ser ligadas em corrente contínua. O método utilizado é baseado no sugerido por Blue Sol (2016), primeiramente calcula-se a energia real (E_p) que deve ser gerada pelos módulos por meio da equação (4), considerando que não será usado um controlador de carga com seguidor de máxima potência, o que exige que o sistema gere em torno de 10% a mais de energia do que a demanda (E_R). O cálculo do sistema de bombeamento alimentado por painel fotovoltaico será feito separadamente, pois utilizará um método diferente.

$$E_p = \frac{E_R}{0,9} = \frac{1.744 [Wh/dia]}{0,9} = 1.937,78 [Wh/dia] \quad (4)$$

O SunData é uma ferramenta disponível na internet que apresenta dados de irradiação solar para várias localidades do Brasil. A ferramenta aponta Julho como o mês com menor média de irradiação em Correntina, que foi de 4 kWh/m².dia (Figura 34). A ferramenta também faz comparação com irradiação no plano inclinado. Numa

inclinação de 20° para o norte, a menor média de irradiação passa a ser 4,65 kWh/m².dia em Correntina, também no mês de Julho (Figura 35). Assim, pode-se calcular as horas de sol pleno (HSP) durante o dia, que representa o número de horas em que a irradiância solar permanece constante e igual a 1 kW/m² ao longo do dia, através da equação (5).

Localidades próximas

Latitude: 13,519027° S
Longitude: 45,404606° O

| # | Estação | Município | UF | País | Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia] | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------|------------|----|------|---------------------------------------------------------|---------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | | | | Latitude [°] | Longitude [°] | Distância [km] | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média | Delta |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Correntina | Correntina | BA | BRA | 13,3° S | 44,636666° O | 86,7 | 5,42 | 5,00 | 5,75 | 4,86 | 4,97 | 4,72 | 4,00 | 5,86 | 5,36 | 5,42 | 5,42 | 5,33 | 5,18 | 1,86 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Posse | Posse | GO | BRA | 14,1° S | 46,369444° O | 122,7 | 5,00 | 4,89 | 5,42 | 4,47 | 4,67 | 4,42 | 5,08 | 5,61 | 5,06 | 5,22 | 4,89 | 5,25 | 5,00 | 1,19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Taguatinga | Taguatinga | TO | BRA | 12,4° S | 46,436111° O | 167,4 | 4,94 | 4,67 | 5,03 | 4,44 | 4,53 | 4,72 | 5,14 | 5,53 | 5,19 | 5,00 | 4,97 | 5,08 | 4,94 | 1,09 |

Figura 34: Irradiação (Fonte: CRESESB, 2016).

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Correntina
Município: Correntina, BA - BRA
Latitude: 13,3° S
Longitude: 44,636666° O
Distância do ponto de ref. (13,519027° S; 45,404606° O): 86,7 km

| # | Ângulo | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|------------|----------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|--|--|--|--|--|
| | | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média | Delta | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Plano Horizontal | 0° N | 5,42 | 5,00 | 5,75 | 4,86 | 4,97 | 4,72 | 4,00 | 5,86 | 5,36 | 5,42 | 5,42 | 5,33 | 5,18 | 1,86 | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ângulo igual a latitude | 14° N | 5,04 | 4,81 | 5,78 | 5,16 | 5,59 | 5,46 | 4,50 | 6,43 | 5,51 | 5,28 | 5,08 | 4,92 | 5,30 | 1,94 | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maior média anual | 15° N | 5,01 | 4,79 | 5,78 | 5,17 | 5,62 | 5,50 | 4,53 | 6,46 | 5,51 | 5,26 | 5,05 | 4,88 | 5,30 | 1,94 | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maior mínimo mensal | 20° N | 4,82 | 4,68 | 5,72 | 5,21 | 5,77 | 5,69 | 4,65 | 6,59 | 5,49 | 5,16 | 4,88 | 4,69 | 5,28 | 1,94 | | | | | |

Figura 35: Irradiação no plano inclinado (Fonte: CRESESB, 2016).

$$HSP = \frac{4,65 [kWh/m^2 \cdot dia]}{1 [kW/m^2]} = 4,65 [h/dia] \quad (5)$$

Para exemplificar os próximos cálculos, serão utilizados os parâmetros do módulo da série JS 150, produzido pela Yingli Solar, as especificações do painel podem ser vistas na Figura 36.

JS 150 SERIES

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

| Parâmetros elétricos para as condições padrões (STC) | | | |
|------------------------------------------------------|------------------|---|-----------|
| Módulo | | | JS 150 |
| Tipo de módulo | | | YLuxxP17b |
| Potência de saída | P_{max} | W | 150 |
| Tolerância potência saída | ΔP_{max} | W | +/- 5 |
| Eficiência módulo | η_m | % | 15,0 |
| Tensão em P_{max} | V_{mp} | V | 18,5 |
| Corrente em P_{max} | I_{mp} | A | 8,12 |
| Tensão em circuito aberto | V_{oc} | V | 22,9 |
| Corrente em curto-circuito | I_{sc} | A | 8,61 |

STC: 1000 W / m² irradiância, temperatura do módulo de 25 ° C, AM1.5 distribuição espectral de acordo com a norma EN 60904-3
Redução média de 5 % de eficiência relativa de 200 W / m² de acordo com EN 60904-1

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

| | | | |
|--------------------------------------------|----------------|------|----------|
| Temperatura nominal da célula | NOCT | °C | 46 +/- 2 |
| Coefficiente de temperatura para P_{max} | γ | %/°C | -0,45 |
| Coefficiente de temperatura para V_{oc} | β_{voc} | %/°C | -0,37 |
| Coefficiente de temperatura para I_{sc} | α_{isc} | %/°C | 0,06 |

CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO

| | |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Tensão máxima do sistema | 600V _{DC} |
| Valor máximo fusível em série | 15A |
| Limitação de corrente inversa | Não se deve aplicar a tensão maior do que o Voc do módulo |
| Faixa de temperatura em funcionamento | -40°C to 85°C |
| Carga estática máxima frontal (neve) | 2400Pa |
| Carga estática máxima inversa (vento) | 2400Pa |
| Máximo impacto por granizo (diâmetro/velocidade) | 25mm / 23m/s |

Figura 36: Especificações do módulo JS 150 (Fonte: YINGLI SOLAR, 2016).

Considerando o efeito da temperatura na tensão do módulo, pode-se calcular a tensão na máxima temperatura de operação através da equação (6). Em que ΔT é a diferença entre a temperatura nas condições padrões de teste (25 °C) e a máxima temperatura de operação (85 °C) e β é o coeficiente de temperatura para a tensão de circuito aberto (V_{OC}). No cálculo, utilizou-se a tensão de máxima potência (V_{mp}), pois é mais provável que a tensão do módulo estará mais próximo a essa com o sistema em operação e é viável utilizar o mesmo coeficiente de temperatura.

$$V_{mpTmax} = [1 + (\Delta T \cdot \beta)] \cdot V_{mp} = [1 + (60 [^{\circ}C] \cdot (-0,0037 [^{\circ}C^{-1}]))] \cdot 18,5 [V] = 14,39 [V] \quad (6)$$

O número de módulos em série pode ser calculado pela equação (7), em que foi considerado 12 V como tensão do sistema (V).

$$N^{\circ} \text{ de módulos}_{\text{série}} = \frac{V_{mpTmax}}{V} = \frac{14,39 [V]}{12 [V]} = 0,83 \quad (7)$$

O valor encontrado deve ser arredondado para 1 módulo em série. Já a quantidade de módulos em paralelo é calculada utilizando a equação (8), que considera a corrente de máxima potência (I_{mp}) do módulo fotovoltaico JS 150 para demonstrar o cálculo:

$$N^{\circ} \text{ de módulos}_{\text{paralelo}} = \frac{Ep}{V \cdot HSP \cdot I_{mp}} = \frac{1.937,78 [kWh/dia]}{12 [V] \cdot 4,65 [h/dia] \cdot 8,12 [A]} = 4,75 \quad (8)$$

Serão necessário 5 módulos em paralelo para atender a demanda, já que o valor encontrado deve ser arredondado para um valor inteiro. A tabela 12 mostra a quantidade de módulos e preço de várias configurações de carga utilizando o modelo JS 150 e tendo 12 V como a tensão de operação do sistema, já a Tabela 13 mostra as mesmas informações mas utilizando 24 V como tensão do sistema. Os preços foram baseados em pesquisas de mercado (MERCADO LIVRE, 2016 e NEOSOLAR, 2016).

| Cargas | Consumo (Wh/dia) | Energia real (Wh/dia) | Modelo | Qtd. De módulos | Potência do sistema (Wp) | Preço (R\$) |
|---------------------------|------------------|-----------------------|--------|-----------------|--------------------------|-------------|
| Todas cargas CC | 1.744,00 | 1.937,78 | JS 150 | 5 | 750 | 3.000,00 |
| Internet + som + lâmpadas | 1.064,00 | 1.182,22 | JS 150 | 3 | 450 | 1.800,00 |
| Internet + som + TV | 1.048,00 | 1.164,44 | JS 150 | 3 | 450 | 1.800,00 |
| TV | 680,00 | 755,56 | JS 150 | 2 | 300 | 1.200,00 |
| TV + internet | 1.034,00 | 1.148,89 | JS 150 | 3 | 450 | 1.800,00 |
| Lâmpadas | 696,00 | 773,33 | JS 150 | 2 | 300 | 1.200,00 |
| TV + lâmpadas | 1.376,00 | 1.528,89 | JS 150 | 4 | 600 | 2.400,00 |
| Som + TV + lâmpadas | 1.456,00 | 1.617,78 | JS 150 | 4 | 600 | 2.400,00 |
| Internet + som | 368,00 | 408,89 | JS 150 | 1 | 150 | 600,00 |
| TV + som | 760,00 | 844,44 | JS 150 | 2 | 300 | 1.200,00 |

Tabela 12: Possibilidades de sistemas fotovoltaicos, considerando sistema em 12V (Fonte: o próprio autor).

| Cargas | Consumo (Wh/dia) | Energia real (Wh/dia) | Modelo | Qtd. De módulos | Potência do sistema (Wp) | Preço (R\$) |
|---------------------------|------------------|-----------------------|--------|-----------------|--------------------------|-------------|
| Todas cargas CC | 1.744,00 | 1.937,78 | JS 150 | 4 | 600 | 2.400,00 |
| Internet + som + lâmpadas | 1.064,00 | 1.182,22 | JS 150 | 2 | 300 | 1.200,00 |
| Internet + som + TV | 1.048,00 | 1.164,44 | JS 150 | 2 | 300 | 1.200,00 |
| TV | 680,00 | 755,56 | JS 150 | 2 | 300 | 1.200,00 |
| TV + internet | 1.034,00 | 1.148,89 | JS 150 | 2 | 300 | 1.200,00 |
| Lâmpadas | 696,00 | 773,33 | JS 150 | 2 | 300 | 1.200,00 |
| TV + lâmpadas | 1.376,00 | 1.528,89 | JS 150 | 4 | 600 | 2.400,00 |
| Som + TV + lâmpadas | 1.456,00 | 1.617,78 | JS 150 | 4 | 600 | 2.400,00 |
| Internet + som | 368,00 | 408,89 | JS 150 | 2 | 300 | 1.200,00 |
| TV + som | 760,00 | 844,44 | JS 150 | 2 | 300 | 1.200,00 |

Tabela 13: Possibilidades de sistemas fotovoltaicos, considerando sistema em 24V (Fonte: o próprio autor).

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para bombeamento, usa-se o método sugerido por CEPEL-CRESESB (2014). Considerando uma demanda de água de 1.128 L/dia, 2 dias de autonomia (mesmo que não haja luz solar, o bombeamento será realizado) e sabendo que o reservatório fica a aproximadamente 6 metros de altura (h_m), pode-se calcular a altura manométrica do sistema (h_{mc}) através da equação (9) e utilizando a Figura 37 como base para estimar as perdas na tubulação, que são de 1,15 metro (h_t), já que o sistema tem uma vazão baixa.

| Perdas de Carga (perda equivalente em metros de altura manométrica para cada 100 m de tubulação) | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Vazão (L/h) | Diâmetro interno da tubulação (mm) | | | | | | |
| | 19 | 26 | 32 | 38 | 50 | 63 | 75 |
| 500 | 1,15 | | | | | | |
| 1.000 | 4,65 | 1,15 | 0,23 | | | | |
| 2.000 | 22,40 | 5,30 | 1,43 | 0,55 | | | |
| 3.000 | | 9,90 | 2,50 | 1,00 | 0,50 | 0,18 | |
| 4.000 | | 16,25 | 4,55 | 2,00 | 0,83 | 0,38 | 0,14 |
| 5.000 | | | 6,45 | 2,60 | 1,15 | 0,48 | 0,17 |
| 6.000 | | | 9,25 | 4,30 | 1,55 | 0,58 | 0,20 |
| 7.000 | | | 12,85 | 5,45 | 2,00 | 0,68 | 0,25 |
| 8.000 | | | 16,60 | 7,50 | 2,50 | 0,90 | 0,30 |
| 9.000 | | | | 9,45 | 3,05 | 1,13 | 0,40 |
| 10.000 | | | | 12,50 | 4,25 | 1,40 | 0,58 |
| 12.000 | | | | 15,45 | 5,45 | 1,90 | 0,75 |
| 15.000 | | | | 23,50 | 8,10 | 3,00 | 1,18 |

Figura 37: Perdas na tubulação (Fonte: CEPEL-CRESESB, 2014).

$$h_{mc} = h_t + h_m = 1,15[m] + 6[m] = 7,15[m] \quad (9)$$

Considerando a aceleração da gravidade de $9,81 \text{ m/s}^2$ e densidade da água de 1000 kg/m^3 , a energia hidráulica (EH) necessária pode ser calculada:

$$EH = \frac{g \cdot r \cdot h_{mc} \cdot Q \cdot d}{3600} = \frac{9,81[m/s^2] \cdot 1000[kg/m^3] \cdot 7,15[m] \cdot 1,128[m^3/dia] \cdot 2[dia]}{3600} = 43,95[Wh/dia] \quad (10)$$

A energia elétrica (EEL) necessária é calculada levando em consideração o rendimento da motobomba, que geralmente é de 25% (CEPEL-CRESESB, 2014):

$$EEL = \frac{EH}{n_{mb}} = \frac{43,95[Wh/dia]}{0,25} = 175,82[Wh/dia] \quad (11)$$

Logo, a potência do arranjo fotovoltaico é calculada utilizando a equação (12):

$$PFV = \frac{1,25 \cdot EEL}{HSP} = \frac{1,25 \cdot 175,82 [Wh/dia]}{4,65 [h/dia]} = 47,26 [W_p] \quad (12)$$

Portanto, o sistema pode ser suprido por um módulo que possua potência por volta de 50 Wp, que custa entre R\$ 200,00 e R\$ 300,00 (MERCADO LIVRE, 2016 e NEOSOLAR, 2016).

5.1.8 Banco de Baterias

Uma outra análise importante é a quantidade de baterias que supre cada uma das possibilidades de carga em CC, já que as baterias apresentam um custo alto, influenciando muito o projeto. Levando em conta a energia real necessária para alimentar as cargas e que as baterias não devem ultrapassar uma profundidade de descarga de 20% para preservar sua vida útil (Figura 38), a energia que deve ter o banco de baterias pode ser calculada através da equação (13):

$$E [Ah/dia] = \frac{Ep}{V \cdot Pd} = \frac{1.937,78 [Wh/dia]}{12 [V] \cdot 0,2} = 807,41 [Ah/dia] \quad (13)$$

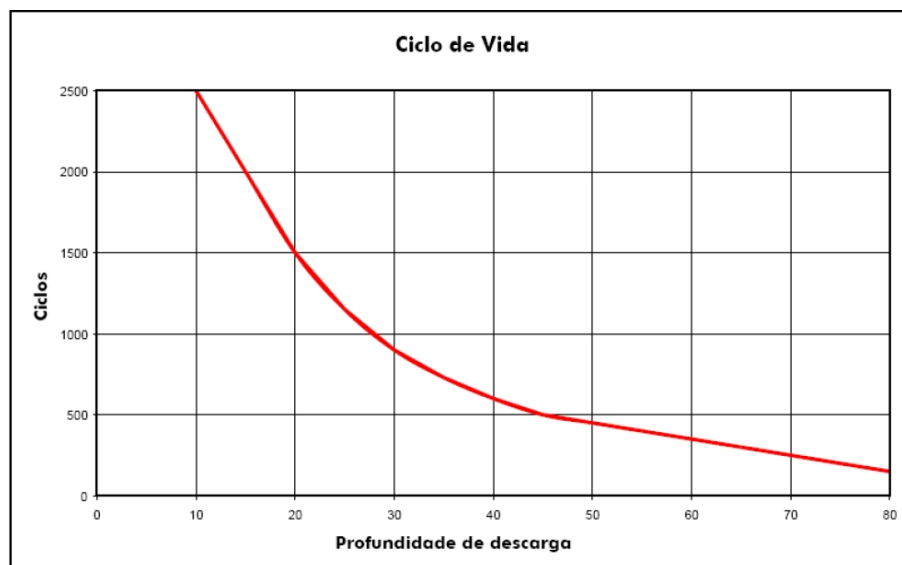


Figura 38: Ciclo de vida da bateria estacionária Freedom (Fonte: NEOSOLAR, 2016).

O número de baterias pode ser calculado dividindo-se o valor encontrado pela capacidade da bateria ($C_{bateria}$), nesse caso utilizou-se uma bateria de 150 Ah como exemplo.

$$N^{\circ} \text{ de baterias}_{\text{paralelo}} = \frac{E}{C_{\text{bateria}}} = \frac{807,41 [Ah/dia]}{150 [Ah]} = 5,38 \quad (14)$$

Foram feitos diversos cálculos da quantidade de baterias necessárias para alimentar as diversas possibilidades de cargas CC (as mesmas exibidas nas Tabelas 12 e 13) utilizando sistema em 12 ou 24 V, os resultados estão demonstrados na Tabela 14. As informações de preços foram baseadas em pesquisas no mercado brasileiro (MERCADO LIVRE, 2016 e NEOSOLAR, 2016).

| Cargas | Energia real (Wh/dia) | Capacidade da bateria (Ah) | Qtd. De baterias a 12V | Preço a 12V (R\$) | Qtd. De baterias a 24V | Preço a 24V (R\$) |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| Todas cargas CC | 1.937,78 | 150,00 | 5 | 5.000,00 | 6 | 6.000,00 |
| Internet + som + lâmpadas | 1.182,22 | 150,00 | 3 | 3.000,00 | 4 | 4.000,00 |
| Internet + som + TV | 1.164,44 | 150,00 | 3 | 3.000,00 | 4 | 4.000,00 |
| TV | 755,56 | 150,00 | 2 | 2.000,00 | 2 | 2.000,00 |
| TV + internet | 1.148,89 | 150,00 | 3 | 3.000,00 | 4 | 4.000,00 |
| Lâmpadas | 773,33 | 150,00 | 2 | 2.000,00 | 2 | 2.000,00 |
| TV + lâmpadas | 1.528,89 | 150,00 | 4 | 4.000,00 | 4 | 4.000,00 |
| Som + TV + lâmpadas | 1.617,78 | 150,00 | 4 | 4.000,00 | 4 | 4.000,00 |
| Internet + som | 408,89 | 150,00 | 1 | 1.000,00 | 2 | 2.000,00 |
| TV + som | 844,44 | 150,00 | 2 | 2.000,00 | 2 | 2.000,00 |

Tabela 14: Possibilidades de sistemas fotovoltaicos, considerando sistema em 12V (Fonte: o próprio autor).

5.2 ESCOLHA

Os subsistemas de bombeamento de água e de preparo de alimentos já possuem soluções aplicadas no sítio, por isso não é necessário fazer escolhas para as tecnologias, mas a utilização de forno solar pode trazer economias e melhoria ao meio ambiente e, no futuro, quando mudanças ou reposições forem executadas, pode ser interessante analisar novamente a possibilidade do bombeamento solar ou roda d'água.

A utilização de chuveiro elétrico se mostrou impraticável, pois encarecerá demais a turbina hidrocínética. Portanto, deve-se usar o sistema solar térmico convencional ou de baixo custo para suprir essa demanda.

Para o sistema elétrico, a sugestão desse trabalho é utilizar módulos fotovoltaicos para ligar o som, o sistema de internet e as lâmpadas de LED em corrente contínua, sem necessidade de inversor, uma vez que a energia eólica apresentou um custo mais alto, além disso, o sistema de TV foi expresso como algo não essencial, o que também leva a um menor custo com o banco de baterias.

A turbina de 1,8 kW instalada por último na propriedade pode ser reaproveitada para suprir as demais cargas elétricas. Nesse caso, a geladeira e ferro de passar são as maiores cargas com potencial de estarem ligadas ao mesmo tempo, resultando em 1,5 kW, o que deixa ainda uma margem de 300 W se a moradora do sítio desejar aumentar a carga ou ligar mais aparelhos no futuro, ou se a velocidade do rio estiver mais baixa, o que leva a uma menor potência de saída. Porém, deve-se evitar ligar muitos aparelhos ao mesmo tempo para evitar falhas no fornecimento de energia.

6 ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA DE GERAÇÃO ELÉTRICA

Como esse é um trabalho de conclusão de curso de engenharia elétrica, será dado um enfoque mais detalhado aos subsistemas de geração de eletricidade, especialmente o sistema fotovoltaico. O detalhamento da turbina hidrocínética não precisa ser feito, pois será usado o modelo já instalado no sítio no passado e descrito por Els, Campos e Salomon (2005). Ao final, será feita a análise dos custos do sistema completo.

6.1 DETALHAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Nessa seção será feito o detalhamento do sistema de geração elétrica em corrente contínua, dimensionando as baterias, controlador de carga e dispositivos de proteção.

6.1.1 Painéis Fotovoltaicos e Banco de Baterias

A Tabela 15 faz uma comparação de diferentes modelos de painéis fotovoltaicos que atenderiam a demanda definida na seção 5.2 (internet + som + lâmpadas), acompanhado do preço total decorrente de usar cada modelo, considerando um sistema de 12 e de 24 V. Os módulos KD 140 (Figura 39), KB 255 e KB 260 (Figura 40) são da marca Kyocera, enquanto os modelos JS 150 e YL 275 (Figura 41) pertencem à marca Yingli Solar.

| Especificações | Painéis | | | | |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | KD 140 | JS 150 | KB 255 | KB 260 | YL 275 |
| $P(W)$ | 140 | 150 | 255 | 260 | 275 |
| $V_{mp}(V)$ | 17,7 | 18,5 | 30,8 | 31 | 31,2 |
| $I_{mp}(A)$ | 7,91 | 8,12 | 8,28 | 8,39 | 8,82 |
| $V_{OC}(V)$ | 22,1 | 22,9 | 38 | 38,3 | 38,9 |
| $I_{SC}(A)$ | 8,68 | 8,61 | 8,83 | 9,09 | 9,34 |
| Nº de módulos em 12 V | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Nº de módulos em 24 V | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Preço de um módulo (R\$) | 600,00 | 600,00 | 900,00 | 900,00 | 900,00 |
| Preço total em 12 V (R\$) | 1.800,00 | 1.800,00 | 2.700,00 | 2.700,00 | 2.700,00 |
| Preço total em 24 V (R\$) | 1.200,00 | 1.200,00 | 900,00 | 900,00 | 900,00 |

Tabela 15: Comparação de diferentes modelos de painéis fotovoltaico (Fonte: o próprio autor).

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

| Standard Test Conditions (STC) STC = 1000 W/m ² irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5 spectrum* | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------|
| KD140SX-UFBS | | |
| P _{max} | 140 | W |
| V _{mp} | 17.7 | V |
| I _{mp} | 7.91 | A |
| V _{oc} | 22.1 | V |
| I _{sc} | 8.68 | A |
| P _{tolerance} | +7/-0 | % |
| Nominal Operating Cell Temperature Conditions (NOCT) NOCT = 800 W/m ² irradiance, 20°C ambient temperature, AM 1.5 spectrum* | | |
| T _{NOCT} | 45 | °C |
| P _{max} | 101 | W |
| V _{mp} | 16.0 | V |
| I _{mp} | 6.33 | A |
| V _{oc} | 20.2 | V |
| I _{sc} | 7.03 | A |
| Temperature Coefficients | | |
| P _{max} | -0.46 | %/°C |
| V _{mp} | -0.52 | %/°C |
| I _{mp} | 0.0066 | %/°C |
| V _{oc} | -0.36 | %/°C |
| I _{sc} | 0.060 | %/°C |
| Operating Temp | -40 to +90 | °C |

Figura 39: Especificações técnicas do módulo KD 140 (Fonte: KYOCERA SOLAR DO BRASIL, 2012).

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

| Standard Test Conditions (STC) STC = 1000 W/m ² irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5 spectrum* | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|------|
| | KB255-6BCA/6BPA | KB260-6BCA/6BPA | |
| P _{max} | 255 | 260 | W |
| V _{mp} | 30.8 | 31.0 | V |
| I _{mp} | 8.28 | 8.39 | A |
| V _{oc} | 38.0 | 38.3 | V |
| I _{sc} | 8.83 | 9.09 | A |
| P _{tolerance} | +5/-0 | +5/-0 | % |
| Nominal Operating Cell Temperature Conditions (NOCT) NOCT = 800 W/m ² irradiance, 20°C ambient temperature, AM 1.5 spectrum* | | | |
| T _{NOCT} | 45 | 45 | °C |
| P _{max} | 183 | 187 | W |
| V _{mp} | 27.7 | 27.9 | V |
| I _{mp} | 6.61 | 6.71 | A |
| V _{oc} | 34.8 | 35.1 | V |
| I _{sc} | 7.15 | 7.36 | A |
| PTC | 228.3 | 232.9 | W |
| Temperature Coefficients | | | |
| P _{max} | -0.45 | -0.45 | %/°C |
| V _{mp} | -0.48 | -0.48 | %/°C |
| I _{mp} | 0.02 | 0.02 | %/°C |
| V _{oc} | -0.36 | -0.36 | %/°C |
| I _{sc} | 0.06 | 0.06 | %/°C |
| Operating Temp | -40 to +90 | -40 to +90 | °C |

Figura 40: Especificações técnicas dos painéis KB 255 e KB 260 (Fonte: KYOCERA SOLAR DO BRASIL, 2012).

ELECTRICAL PERFORMANCE

| Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC) | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------|-------------------|---|------------------------------------|------|------|------|------|
| Module type | | | YLxxxD-30b (xxx=P _{max}) | | | | |
| Power output | P _{max} | W | 290 | 285 | 280 | 275 | 270 |
| Power output tolerances | ΔP _{max} | W | 0 / + 5 | | | | |
| Module efficiency | η _m | % | 17.9 | 17.6 | 17.2 | 16.9 | 16.6 |
| Voltage at P _{max} | V _{mpp} | V | 31.9 | 31.7 | 31.4 | 31.2 | 30.9 |
| Current at P _{max} | I _{mp} | A | 9.08 | 9.00 | 8.91 | 8.82 | 8.73 |
| Open-circuit voltage | V _{oc} | V | 39.9 | 39.6 | 39.3 | 38.9 | 38.6 |
| Short-circuit current | I _{sc} | A | 9.45 | 9.41 | 9.38 | 9.34 | 9.31 |

STC: 1000 W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.
Average relative efficiency reduction of 3.0% at 200 W/m² according to EN 60904-1.

| Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------|------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Power output | P _{max} | W | 211.5 | 207.9 | 204.2 | 200.6 | 196.9 |
| Voltage at P _{max} | V _{mp} | V | 29.1 | 28.9 | 28.7 | 28.4 | 28.2 |
| Current at P _{max} | I _{mp} | A | 7.26 | 7.20 | 7.13 | 7.06 | 6.98 |
| Open-circuit voltage | V _{oc} | V | 36.8 | 36.6 | 36.3 | 35.9 | 35.6 |
| Short-circuit current | I _{sc} | A | 7.64 | 7.61 | 7.58 | 7.55 | 7.53 |

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800 W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

THERMAL CHARACTERISTICS

| Nominal operating cell temperature | NOCT | °C | 46 +/- 2 |
|---------------------------------------------|------------------|------|----------|
| Temperature coefficient of P _{max} | γ | %/°C | -0.42 |
| Temperature coefficient of V _{oc} | β _{Voc} | %/°C | -0.32 |
| Temperature coefficient of I _{sc} | α _{Isc} | %/°C | 0.05 |

Figura 41: Especificações técnicas do painel YL 275 (Fonte: YINGLI SOLAR, 2016).

A quantidade de baterias de 150 Ah necessárias para alimentar o sistema já foi definida na Tabela 14. A Tabela 16 faz uma comparação entre baterias com capacidade de 105 e 150 Ah e os respectivos preços com relação ao atendimento do sistema definido em 12 e 24 V.

| Especificações | Capacidade da bateria | |
|---------------------------|-----------------------|----------|
| | 105 Ah | 150 Ah |
| Preço unitário (R\$) | 700,00 | 1.000,00 |
| Nº de baterias em 12 V | 5,00 | 3,00 |
| Nº de baterias em 24 V | 4,00 | 4,00 |
| Preço total em 12 V (R\$) | 3.500,00 | 3.000,00 |
| Preço total em 24 V (R\$) | 2.800,00 | 4.000,00 |

Tabela 16: Comparação baterias 105 e 150 Ah (Fonte: o próprio autor).

É possível concluir que a combinação mais economicamente viável é utilizar um módulo YL 275 e quatro baterias de 105 Ah (sendo dois conjuntos com duas baterias em série, cada) com o sistema funcionando em 24 V.

6.1.2 Controlador de Carga

A corrente máxima que o controlador deverá suportar pode ser escrita conforme a equação (15), que leva em conta a corrente de curto circuito do módulo (I_{SC}) (CEPEL-CRESESB, 2014):

$$I_c = 1,25 \cdot N^{\circ} \text{módulos}_{\text{paralelo}} \cdot I_{SC} = 1,25 \cdot 1 \cdot 9,34 [A] = 11,675 [A] \quad (15)$$

6.1.3 Dispositivos de Proteção

Os dispositivos de proteção dizem respeito aos diodos, fusíveis e outros equipamentos que devem ser instalados para garantir a segurança do sistema e das pessoas que venham a entrar em contato com o mesmo.

Os diodos devem ser especificados com base na corrente máxima de operação (11,675 A) e tensão (24 V). Deve se colocar dois diodos e cada um deve suportar pelo menos a corrente de operação (11,675 A) e duas vezes a tensão de circuito aberto de todo o arranjo que é de $2 \times 38,9 = 77,8$ V (CEPEL-CRESESB, 2014).

Os fusíveis devem ser dimensionados para correntes menores que a corrente reversa suportada pelo módulo que é de 15 A. Recomenda-se o uso de dois fusíveis do tipo gPV para cada módulo, um em cada polaridade (CEPEL-CRESESB, 2014). Além disso, é importante que as caixas dos equipamentos, estruturas metálicas de suporte e todo metal exposto estejam devidamente aterrados. A Figura 42 ilustra como será o sistema fotovoltaico.

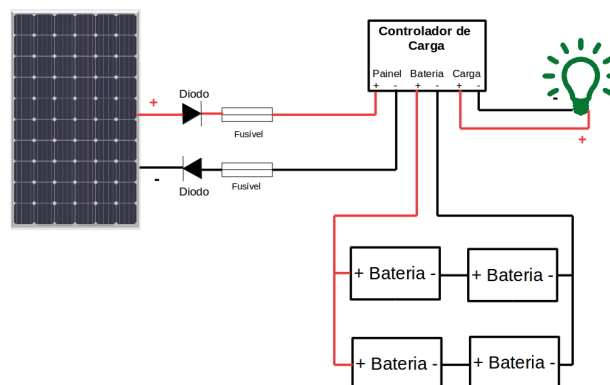


Figura 42: Imagem ilustrativa do sistema fotovoltaico
(Fonte: o próprio autor).

6.2 CUSTOS

A Tabela 17 mostra os custos do sistema. Os custos do controlador de carga, diodos e fusíveis foram baseados em pesquisa de mercado (MERCADO LIVRE, 2016). Os valores de estrutura de suporte e cabeamento para o arranjo fotovoltaico foram baseados em Dassi (2015), Mesquita (2014), Miranda (2014) e Nakabayashi (2015). Já os custos de instalação e transporte foram baseadas em Brasil Junior et al. (2007), em que forma feitas suposições para o caso desse trabalho. Foram consideradas também as instalações do aquecedor solar convencional, chocadeira solar e forno solar. Os dois últimos são opcionais, uma vez que a chocadeira solar pode ser suprida pela turbina hidrocínética sem maiores custos e já existe um sistema de forno convencional no sítio.

| Componente | Quantidade | Preço unitário (R\$) | Preço total (R\$) |
|----------------------|------------|----------------------|-------------------|
| Módulos | 1 | 900,00 | 900,00 |
| Baterias | 4 | 700,00 | 2.800,00 |
| Controlador de carga | 1 | 200,00 | 200,00 |
| Diodos | 1 | 3,00 | 3,00 |
| Estrutura de suporte | 1 | 120,00 | 120,00 |
| Cabeamento | 1 | 124,00 | 124,00 |
| Fusíveis | 2 | 1,00 | 2,00 |
| Turbina | 1 | 15.000,00 | 15.000,00 |
| Aquecedor solar | 1 | 3.700,00 | 3.700,00 |
| Chocadeira solar | 1 | 600,00 | 600,00 |
| Forno solar | 1 | 300,00 | 300,00 |
| Instalação | 1 | 4.500,00 | 4.500,00 |
| Transporte | 1 | 4.000,00 | 4.000,00 |
| Total | | | 32.249,00 |

Tabela 17: Custos do sistema (Fonte: o próprio autor).

Os custos de manutenção dizem respeito à reposição de baterias e manutenção da turbina. As baterias duram em torno de quatro anos (NEOSOLAR, 2016), o que daria um custo de R\$ 700,00 por ano. Segundo Els, Campos e Salomon (2005) a manutenção da turbina hidrocínética é de R\$ 500,00 por ano, resultando em um custo de manutenção para o sistema completo de cerca de R\$ 1.200,00 por ano.

6.3 OUTRAS CONSIDERAÇÕES

É importante considerar que, antes da instalação do sistema, deve ser feito o projeto elétrico e executivo do sistema observando as normas técnicas cabíveis para

garantir a segurança das pessoas e dos equipamentos e para certificar que os equipamentos sejam instalados em locais adequados. Da mesma forma, os procedimentos de segurança descritos no projeto executivo e nas normas de segurança devem ser seguidos no momento da instalação e operação do sistema.

Também devem ser observadas as normas e boas práticas de descarte de peças e equipamentos, especialmente as baterias e os módulos fotovoltaicos. Segundo o artigo 33 da Política Nacional de Resíduos Sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pilhas, baterias e produtos eletroeletrônicos são responsáveis por estruturar e implementar os sistemas de logística reversa para seus produtos. Portanto, devem ser verificados os procedimentos corretos a serem seguidos junto às empresas responsáveis (BRASIL, 2012).

Além disso, conforme dito no Projeto Informacional, é preciso capacitar os usuários e operadores do sistema. Moradores da comunidade interessados em aprender sobre o funcionamento do sistema podem ser convidados a participar de capacitações no sítio Veredão para que possam ser capazes de realizar serviços de manutenção no sistema instalado no sítio. Essas pessoas podem até mesmo se tornar agentes para a disseminação das tecnologias na região.

7 CONCLUSÃO

O fornecimento de energia elétrica a comunidades isoladas possui desafios tecnológicos, de infraestrutura (estradas) e geográficos (baixa densidade populacional). Esse trabalho provou que é possível projetar soluções que atendam às demandas energéticas dessas comunidades sem a necessidade de recorrer a receitas prontas. Ao invés disso, é dever dos projetistas procurar ouvir os usuários finais e buscar maneiras personalizadas de enfrentar os desafios do acesso universal à energia.

O Projeto Informacional se mostrou uma ótima ferramenta para decifrar e transformar as necessidades dos clientes em parâmetros técnicos que pudessem ser mensurados, provocando uma forma nova de enxergar o dimensionamento de um sistema de geração de energia elétrica.

Com relação às especificações meta, praticamente todos os valores meta foram alcançados, já que todas as necessidades energéticas foram supridas e os custos ficaram dentro dos valores aceitáveis. Porém, não foi possível verificar o atendimento de seis requisitos de sistema aos valores meta definidos, são eles: quantidade de equipamentos em locais inadequados, horas de capacitação em montagem e instalação e em operação do sistema, taxa de falhas, disponibilidade de equipamentos na região e equipamentos descartados conforme legislação. A impossibilidade de verificar o atendimento dessas especificações se dá ao fato de que os valores finais desses requisitos serão definidos ao longo da execução do projeto, não sendo possível, nesse momento, atribuir números a eles.

O desenvolvimento deste projeto permitiu uma forma diferente de pensar a engenharia elétrica, não somente nos aspectos técnicos e matemáticos, mas também nos impactos sociais que esta ciência pode ter na vida das pessoas, principalmente os moradores de zonas rurais, que não vivem na mesma realidade que os moradores dos grandes centros urbanos e têm um potencial muito maior de se beneficiar do avanço tecnológico.

Ao longo do trabalho, foi possível pesquisar e compreender diversas formas tradicionais de aproveitamento de energia que ainda são usadas por habitantes do campo mas que carecem de visibilidade e pesquisas mais aprofundadas sobre seu

funcionamento. Uma sugestão para trabalhos a serem desenvolvidos no futuro é o detalhamento das soluções não-elétricas sugeridas para o atendimento da demanda de energia do sítio ou de outras comunidades com características semelhantes. Outras sugestões são a realização do projeto elétrico e executivo do sistema dimensionado, execução do projeto e monitoramento para checar se especificações meta foram realmente alcançadas.

Finalmente, o objetivo deste trabalho foi atingido no que se refere ao desenvolvimento de uma solução específica de atendimento de demanda de energia para o sítio Veredão, pensando cada tecnologia de geração de energia de forma a atender o seu uso final e sem se prender a soluções comuns. O sistema projetado utiliza fontes de energia renováveis disponíveis localmente, promovendo o desenvolvimento local e suprimindo a demanda de energia completamente. Espera-se que o sistema possa ser instalado o quanto antes para que sejam medidas sua eficácia e cumprimento aos fins para o qual o sistema foi projetado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEWUMI, A. A.; AYODELE, L. A.; LAMEED, G. A. **The Effect of Incubator Type on Hatchability and Chick Survival of Emu Dromaius Novae Hollandiae (Le Souef 1907).** J. Appl. Sci. Environ. Manage. Vol. 12(2) 13 – 15. [Iwo, Nigeria], jun., 2008.
- AHIABA, V. U.; NWAKONOB, T. U.; OBETTA, S. E. **Performance Evaluation of a Passive Solar Poultry Egg Incubator.** International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 2, Issue 12, [Makurdi, Benue State, Nigeria], Dec. 2015.
- _____. **Development and Evaluation of a Passive Solar System for Poultry Egg Incubation.** International Journal of Engineering Research and General Science, vol. 3, issue 6, [Makurdi, Benue State, Nigeria], Nov.-Dec. 2015.
- ANEEL. Divulgação dos Limites dos Indicadores DIC, FIC, DMIC e DICRI. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/srd/indqual/default.cfm>>. Acesso em 14 dezembro 2016.
- ARAUTERM. **Poder Calorífico Inferior.** Disponível em: <http://www.caldeirabiomassa.com.br/pdf/tabela_pc_inferior.pdf>. Acesso em: 23 dezembro 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração.** Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **NBR 6027: Informação e documentação – Sumário – Apresentação.** Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão.** Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 5413: Iluminância de interiores.** Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **NBR 10520: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação.** Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **NBR 14724: Informação e documentação – Trabalhos Acadêmicos – Apresentação.** Rio de Janeiro, 2011.
- BAHIA. **Atlas Eólico: Bahia.** [Salvador], 2013.
- BARBOSA, E. M. S. et al. **Towards a Sustainable Future for the Use of SHSs for Rural Electrification in Brazil.** Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica, Rio de Janeiro, v.1, p. 167-172, set. 2003.
- BLACK SHEEP. **Escola do Sol.** Disponível em: <<http://blacksheep.eco.br/>>. Acesso em: 26 dezembro 2016.
- BLUE SOL. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica: Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares.** Disponível em: <<http://programaintegradoronline.com.br/livro>>. Acessado em nov. 2016.
- BOLAJI, B. O. **Design and Performance Evaluation of a Solar Poultry Egg Incubator.** Thammasat Int. J. Sc. Tech., Vol. 13, No. 1, [Abeokuta, Nigeria], Jan. – Mar. 2008.
- BOQUADY, A. et al. **Projeto de Desenvolvimento do Extrator de Pequi.** Brasília, 2016.
- BORTOLETTO, D. R.; PEZZUTO, C. C. **Análise de Desempenho de um Aquecedor Solar de Baixo Custo: Reservatório Térmico Alternativo.** Anais do XVII Encontro de Iniciação Científica, Anais do II Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Campinas, SP, 25 e 26 de set. 2012.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, 2012.
- BRASIL JUNIOR, A. C. P. et al. **Turbina Hidrocinética Geração 3.** [Brasília], [2007?].
- BRITO, M. L. de S.; CASTRO, P. M. **Viabilidade Econômica de Redes de Distribuição Protegidas.** Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 2, n. 1, [Belo Horizonte], 2007.
- CELPE. Consumo dos Aparelhos. Disponível em: <<http://www.celpe.com.br/Pages/Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica/consumo-dos-aparelhos.aspx>> Acesso em: 18 novembro, 2016.
- CEMIG. **Guia do Melhor Consumo: Dicas de Economia de Energia e Segurança com a Rede Elétrica.** [Belo Horizonte], mar. 2014.
- CEPEL – CRESEB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, mar. 2014.
- CEPEL; ELETROBRÁS. **Atlas Solarimétrico do Brasil.** Recife, 2000.
- CEZAR, L. **Estudo de Casos – Instalações Elétricas no Meio Rural.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Maringá. Cidade Gaúcha, PR, set. 2009.

- COELBA. **Estado da Bahia: Atlas do Potencial Eólico**. Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento COELBA-ANEEL. [Salvador], [2001?].
- COELHO, E. F. et al. Sistemas de Irrigação de Baixo Custo para Agricultura Familiar de Assentamentos Ribeirinhos do Semiárido. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. da S.; MEDEIROS, S. de S.; GALVÃO, C. de O. (Ed.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2012. Cap. 5. p. 99-116.
- CONRADO, T. V. et al. **Horta Fácil: Software para o Planejamento, Dimensionamento e Gerenciamento de Hortas em Geral**. Horticultura Brasileira, v. 29, n. 3, p. 435-440, [Brasília], jul.-set. 2011.
- COOPERLUZ. **Tabela de Consumo**. Disponível em: http://www.cooperluz.com.br/informacoes_ao_cooperado/tabela_de_consumo.php. Acesso em: 9 novembro 2016.
- CORREIO. **Preço do botijão de gás aumenta até 15% e pode chegar a R\$ 70**. Disponível em: <http://www.correio24horas.com.br/single-economia/noticia/preco-do-botijao-de-gas-aumenta-ate-15-e-pode-chegar-a-r-70/?cHash=a13446b715cd43595dcb4f67ab0821ac>. Acesso em 9 novembro 2016.
- CORRENTINA. **Portal da Prefeitura Municipal de Correntina**. Disponível em: <http://www.correntina.ba.io.org.br/>. Acesso em: 17 julho 2016.
- CRESESB. **Sistema de Geração Fotovoltaica**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=cse_sistema_fotovoltaico. Acesso em: 25 dezembro 2016.
- _____. **Potencial Solar – SunData**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 25 dezembro 2016.
- DASSI, J. A. et al. **Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Energia Solar Fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil**. XXII Congresso Brasileiro de Custos – Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 11 a 13 nov. 2015.
- DE GOUVELLO, C.; MAIGNE, Y. **Eletificação Rural Descentralizada. Uma Oportunidade para a Humanidade, Técnicas para o Planeta**. CRESESB-CEPEL, Rio de Janeiro, 2003.
- ECHEVERRY, S. M. V. **Impactos da Eletificação no Desenvolvimento Rural em Comunidades Quilombolas: Caso dos Kalunga em Cavalcante-GO**. Dissertação de Mestrado, Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília. Brasília, mar. 2014.
- ELEKTSOLAR INNOVATIONS. **Cursos e treinamentos em energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <http://elektsolar.com.br/>. Acesso em 26 dezembro 2016.
- ELS, R. H. v. et al. **Hydrokinetic Turbine for Isolated Villages**. PCH Notícias & SHP News. Itajubá, MG; n. 19, p. 24-25, 2003.
- _____.; CAMPOS, C. O.; SALOMON, L. B. R. **Turbinas Hidrocinéticas no Brasil**, [Brasília], [2005?], p. 207-216.
- _____.; BRASIL JUNIOR, A. C. P. **The Brazilian Experience with Hydrokinetic Turbines**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED ENERGY, 7., 2015, Milan. Energy Procedia, v. 75, p. 259-264. ELSEVIER. Ago., 2015.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015 – ano base 2014**. Rio de Janeiro: UP IDEIAS Comunicação e Eventos Eireli, set. 2015, 229 p.
- FEDRIZZI, M. C.; SAUER, I. L. **Bombeamento Solar Fotovoltaico, Histórico, Características e Projetos**. Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica, Rio de Janeiro, v.1, p. 45-57, set. 2003.
- FEDRIZZI, M. C.; ZILLES, R. **O Processo de Introdução e Adoção de Sistemas Fotovoltaicos em Comunidades Isoladas na Região do Alto Solimões, Amazonas – Brasil**. Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica, Rio de Janeiro, v. 1, p. 13-29, set. 2003.
- FELIZOLA, E. R.; MAROCCOLO, J. F.; FONSECA, M. R. S. **Identificação de Áreas Potenciais para Implantação de Turbina Hidrocinética Através da Utilização de Técnicas de Geoprocessamento**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abr. 2007, INPE, p. 2549-2556.
- FINK, A. **Viabilidade das Redes Compactas Protegidas na Distribuição de Energia Elétrica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Curso de Engenharia Elétrica. Ijuí, RS, 2013.

- FRATE, C. A.; BRASIL JUNIOR, A. C. P. **Tecnologias Hidrocinética e de Gaseificação: Requisitos de Hibridismo e Aplicação em Comunidades Amazônicas Remotas**. Revista Universo & Extensão, Vol. 1, No 1, Belém, PA, 2013.
- FUGIMOTO, S. K. **A Universalização do Serviço de Energia Elétrica Acesso e Uso Contínuo**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Paulo, 2005.
- FUNDESPA. **Avaliação do Consumo de Insumos (água, energia elétrica e gás) em Chuveiro Elétrico, Aquecedor a Gás, Chuveiro Híbrido, Aquecedor Solar e Aquecedor de Acumulação Elétrico**. São Paulo, abr. 2009.
- GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 26 dezembro 2016.
- _____. **Google Earth**. Versão 7.1.4.1529. 2015.
- GRAH, V. de F. **Solução Alternativa para Bombeamento de Água e Automação de Sistemas de Irrigação**. Monografia, Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2013.
- HAHN, ^a, CONDORI, C.F., SCHMIDT, R., **Photovoltaic water pumps-lesson learned from demonstration and field testing projects supported by GTZ**, 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaics Solar Energy Conversion, Vienna, Austria, 1998. p. 2941-2945.
- HAUSCHILD, L. **Avaliação de Estratégias de Operação de Sistemas Híbridos Fotovoltaico-Eólico-Diesel**. Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- IGUAÇU ENERGIA. **Corrente dos Rios como Gerador de Energia**. Disponível em: <<http://www.ienergia.com.br/ti/turbina.aspx>>. Acesso em 26 dezembro 2016.
- ISTABREEZE. **Windgenerator**. Disponível em: <<https://www.istabreeze.com/online/index.php?route=product/category&path=59>>. Acesso em 26 dezembro 2016.
- ISTABREEZE DO BRASIL. **Aerogerador, eólico Istabreeze 500w, Regulador 12v Catavento**. Disponível em <<http://cearasolar.mercadoshops.com.br/aerogeradoreolico-istabreeze-500w-regulador-12v-catavento-49186281xJM>>. Acesso em: 18 novembro 2016.
- _____. **Aerogeradores**. Disponível em: <<http://cearasolar.net/index.php?route=product/category&path=20>>. Acesso em: 18 novembro 2016.
- KELLER, J. et al. **New Low-Cost Irrigation Technologies for Small Farms**. Proceedings of the International Commission on Irrigation and Drainage. 19th International Congress on Irrigation and Drainage, Beijingm People's Republic of China, 10-18 Sep. 2005.
- KYOCERA SOLAR DO BRASIL. **Módulos Solares**. 2012. Disponível em: <<http://www.kyocerasolar.com.br/modulos-solares.html>>. Acesso em: 26 dezembro 2016.
- LAWS, N. D.; EPPS, B. P. **Hydrokinetic energy conversion: Technology, research and outlook**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 57, 2016, p. 1245 – 1259.
- LAZZARIN, L. P.; VELOSO, G. de O. **Geração de Energia, Paisagismo e Sustentabilidade**. VIII Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar. Instituto Federal Catarinense, Campus Santa Rosa do Sul. 11 e 12 nov. 2015.
- LEITE, G. A. **Modelagem Conceitual de um Biossensor para Detecção de Aflatoxina em Castanha-do-Brasil**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, jun. 2014.
- LGL SOLAR TREINAMENTOS. **Cursos de Energia Solar Fotovoltaica**. 2016. Disponível em: <<http://www.lglsolar.com.br/>>. Acesso em 26 dezembro 2016.
- LOREIRO FILHO, I.; **PRODEEM Documento Básico, Ministério de Minas e Energia**, Brasília, 1993.
- MBOKA, K. G.; MAUNDU, K. G. **Design of a Solar Poultry Egg Incubator**. Final Year Project Report, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, School of Engineering, University of Nairobi, [2012?].
- MESQUITA, J. M. **Método de Avaliação do Nível de Sustentabilidade de Programas de Eletrificação Rural com Sistemas Fotovoltaicos Individuais**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

- MERCADO LIVRE. **Mercado Livre Brasil**. Disponível em: <<http://www.mercadolivre.com.br/>>. Acesso em: 26 dezembro 2016.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Plano Territorial de Desenvolvimento Sustentável da Bacia do Rio Corrente**. Bahia, nov. 2010.
- MIRANDA, A. B. C. M. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede**. Projeto de Graduação, Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, mar. 2014.
- MONDINI, L. et al. **Consumo de Frutas e Hortaliças por Adultos em Ribeirão Preto, SP**. Rev Saúde Pública 2010; 44(4):6 86-94.
- MONTU, T. M. S. **Estudo Comparativo de Sistemas Residenciais de Aquecimento de Água**. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília, 2016.
- NAEGEL, L. C. A.; REAL, J. G.; MAZAREDO, A. M. **Designing a Spiral Pump for Irrigation**. Waterlines Vol. 10, No. 2, Oct. 1991.
- NAKABAYASHI, R. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica**. Nota Técnica, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos. São Paulo, mar. 2015.
- NASCIMENTO, M. V. G. et al. **PRODEEM – O Programa Nacional de Eletrificação Rural Baseado em Energia Solar Fotovoltaica**. Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica, Rio de Janeiro, v.1, p. 59-67, set. 2003.
- NEOSOLAR. **Energia Solar – Pannel Solar Fotovoltaico – Kit Solar**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/>>. Acesso em: 9 novembro 2016.
- NGIGI, S. N. et al. **Low-Cost Irrigation for Poverty Reduction: An Evaluation of Low-Head Drip Irrigation Technologies in Kenya**. International Water Management Institute, 2000.
- NUNES NETO, R. S. et al. **Estudo de Alternativas de Fornecimento de Energia Elétrica Acoplado a um Gerador Fotovoltaico**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 29 de ago. a 1 de set. 2016, Foz do Iguaçu, Brasil.
- OLIVEIRA, M. de. et al. **Estudo de Caso: Levantamento e Análise da Realidade de uma Cooperativa de Energia Elétrica**. Revista de Gestão e Organizações Cooperativas, Santa Maria, RS, v. 2, n. 4, jul./dez. 2015.
- PANORAMIO. **Turbina hidrocínética de 1kW (1995-2005)**. Disponível em: <<http://www.panoramio.com/photo/80208793>>. Acesso em 9 novembro 2016.
- PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Inventário de Emissão de CO₂ da SEMA-PR visando sua redução e neutralização 2007**. Curitiba, 2009.
- PEREIRA, M. G. **Políticas Públicas de Eletrificação Rural na Superação da Pobreza Energética Brasileira: Estudo de Caso da Bacia do Rio Acre – Amazônia**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, dez. 2011.
- PEREIRA, O. S. et al. **Modelo de Projeto Pioneiro de Eletrificação com Sistemas Fotovoltaicos Descentralizados, com Vistas à Universalização dos Serviços de Energia Elétrica**. Revista Brasileira de Energia, Vol. 10, Nº 1, 2004.
- POÇAS, M. **A Roda de Água**. AGROTEC, n. 7, Portugal, 2013.
- PROCEL INFO. **Dicas de Economia de Energia**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>. Acesso em: 9 novembro 2016.
- PROCÓPIO, J. O.; SILVA, M. A. L.; BORGES, F. J. de A. **Adaptação do Funcionamento da Roda d'Água com Aproveitamento da Correnteza**. VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia – Porto Alegre/RS – 25 a 28 nov. 2013.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/home/>>. Acesso em: 22 novembro 2016.
- RAMOS FILHO, R. E. B. **Análise de Desempenho de um Fogão Solar Construído a partir de Sucatas de Antena de TV**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, fev. 2011.

- RIBEIRO, T. B. S. et al. **Implementação de Sistemas Fotovoltaicos em Comunidades Isoladas: Reflexões Sobre Entraves Encontrados**. Revista Brasileira de Energia, Vol. 19, No. 1, 1o Sem. 2013, pp. 269-283.
- ROCHA, J. S. **Análise do Potencial de Aplicação de Sistemas Híbridos como Alternativa para Eletrificação do Meio Rural: Estudo de Caso para Pentecoste-CE**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2010.
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SANTOS, A. C. **Aula 15 – Projeto Conceitual**. Brasília, [2016]. 22 slides.
- _____. **Projeto Informacional 3/4**. Brasília, [2016]. 39 slides.
- _____. **Projeto Informacional 4/4**. Brasília, [2016]. 38 slides.
- SANTOS, R. M. dos. **Construção de uma Bomba d'Água, Acionada por Roda d'Água, Construídas com Materiais Alternativo**. Monografia, Curso de Pós-Graduação *Latu Sensu* em Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2011.
- SCHWADE, A. C.; ZDANOWICZ, J. E. **O Desenvolvimento Socioeconômico Através da Energia Elétrica: o caso da Coprel**. [2013?].
- SEIFER, P. G.; TRIGOSO, F. B. M. **A Busca pelo Sucesso em Projetos de Eletrificação Rural Descentralizada por meio de Sistemas Híbridos de Geração de Energia Elétrica**. VI Encontro Nacional da Anppas, 18 a 21 set. 2012, Belém – PA – Brasil.
- SENNA, M. D. de; GARBIN, R. F. **Avaliação Comparativa Entre Fontes Alternativas de Energia Considerando Incertezas e Externalidades**. Brasília, DF: 2009. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, 117 p.
- SERPA P. A **Apropriação Tecnológica por Comunidades Tradicionais em Aplicações de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares**. Avances en Energías Renovables Y Medio Ambiente. Vol. 10, 2006.
- SIQUEIRA, D. A. **Estudo do Desempenho do Aquecedor Solar de Baixo Custo**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, mar. 2009.
- SMEAL, D. **Drip Irrigation for Small Plots (a low-tech, low-cost, gravity system)**. New Mexico Farming Conference. Albuquerque, NM. Feb. 16-17, 2007.
- SMITH, A. **Low-Cost Drip Irrigation**. Development, Design, Dissemination Laboratory. Technology Brief: International Development Enterprises Irrigation System. Fall 2009.
- SONDA. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/atlas_solar.html>. Acessado em: 26 novembro 2016.
- SOUZA, C. R. G. de; ANJOS, F. S. dos. **Impacto dos Programas de Eletrificação Rural em Comunidades Rurais do Arroio Grande, RS**. Revista Extensão Rural, DEAER/CPGExR – CCR – UFSM, Ano XIV, [Santa Maria, RS], jan. – dez. 2007.
- SOUZA, I. M. de; SOUZA, T. M. de. **Roda d'água Confeccionada em Madeira para Acionar Bomba de Água em Propriedades Rurais**. Revista Sodebras, v. 1, n. 6, [Santa Maria, RS], jun. 2006.
- SOUZA, L. G. M. de. et al. **Forno Solar Fabricado com Blocos de Material Compósito**. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 18 - 21 ago. 2010, Campina Grande, Paraíba, Brasil.
- THOMAZ, N. **Sistemas Alternativos de Aquecimento Solar para Água do Banho no Estado do Rio Grande do Sul**. Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, Universidade Aberta do Brasil, Educação a Distância da Universidade Federal de Santa Maria. 2014.
- THOMPSON, P. L. et al. **Coil Pump Design for a Community Fountain in Zambia**. International Journal for Service Learning in Engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 33-45, Spring 2011.
- TOLMASQUIN, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro, RJ: 2016. 452 p.: il; 21 x 29,7cm. ISBN 978-85-60025-06-0.
- TURBINA Hidrocinética no Brasil: A Energia da Inclusão Social. Direção Geral: Gilson J. Silva. Roteiro: Cássia Van Den Beusch. Imagens: Gilson J. Silva, Ivo Agerkop e Raquel Barreto. Edição Final: Gil Acauã. Trilha Musical: Naldo Maranhão, Edson Catendê e Zé Miguel. Coordenação: Rudi Henri Van Els, Clóvis Oliveira e Lúcio Benedito. Consultoria: Lúcia Tereza e Josiane Aguiar. Brasília: Tipod Designer & Acauã Filmes, 2004.

- TURBINA Hidrocinética: A Energia da Inclusão Social. Direção e Produção: Gil Acauã. Roteiro e Argumento: Antonio Brasil Jr.. Texto: Cássia Van Den Beusch, Lúcia Tereza Ribeiro e Raquel Barreto. Edição de Texto: Maira Zenum. Fotografia e Edição: Gilson J. Silva. Trilha Sonora: Marcelo Carvalho e Salgado Neto. Narração: Guilherme Barcelos. Secretaria Executiva: Denise Costa. Brasília: Acauã Filmes, 2007.
- VELASCO, G. D. N.; LIMA, A. M. L. P.; COUTO, H. T. Z. do. **Análise Comparativa dos Custos de Diferentes Redes de Distribuição de Energia Elétrica no Contexto da Arborização Urbana.** R. Árvore, Viçosa-MG, v. 30, n. 4, p. 679-686, 2006.
- VILCHIS, J. M. D. **A Study of Power Generation from a Low-Cost Hydrokinetic Energy System.** Master of Science (Materials Science and Engineering), University of North Texas, Aug. 2013, 63 p.
- VILLAÇA, A. L. **A Implantação de Mini-redes de Energia Solar Em Comunidades Isoladas do Amazonas.** Lavras, MG: 2011. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia, Curso de Pós Graduação *Lato Sensu* Formas Alternativas de Energia, 47 p.
- YINGLI SOLAR. **Produtos.** Disponível em: <<http://www.yinglisolar.com/br/products/solar-modules/>> Acesso em: 26 dezembro 2016.